Manuali Minerva

Ing. GIACOMO GIULIANI

ELEMENTI DI RADIOTECNICA

PRESENTAZIONE DI GIOVANNI GIORGI

Seconda edizione

À EDITRICE INTERNAZIONALE
TORINO

DINETTO

MANUALI MINERVA

Ing. GIACOMO GIULIANI
PROFESSORE NEGLI ISTITUTI TECNICI INDUSTRIALI

ELEMENTI
DI
RADIOTECNICA

PRESENTAZIONE DI G. GIORGI

Seconda edizione
riveduta

TORINO
SOCIETÀ EDITRICE INTERNAZIONALE
Corso Regina Margherita, 176
TORINO, via Garibaldi, 20 - MILANO, piazza Duomo, 16 - GENOVA, via Petrarca, 22-24r.
PARMA, via al Duomo, 8 - ROMA, via Due Macelli, 52-54
CATANIA, via Vittorio Emanuele, 145-149

Copyright (1947)
by Società Editrice Internazionale.
Dicembre 1947.

Proprietà riservata alla Società Editrice Internazionale di Torino

OFFICINE GRAFICHE S. E. I. - TORINO
(M. E. 17659)

PRESENTAZIONE

ALLA PRIMA EDIZIONE (1943)

Ho cercato invano, nella letteratura tecnica italiana e di altre nazioni, un libro di radiotecnica elementare, di piccola mole, che non fosse ingombrato con le nozioni di elettrotecnica generale, e non fosse di carattere leggero e popolare, per dilettanti, ma avesse un indirizzo veramente tecnico, sì da essere adatto per corsi secondari inferiori, e per coloro tutti che aspirano a diventare tecnici della radiotrasmissione.

Il Prof. Ing. Giuliani, oltre ad essere un valente studioso, e un apprezzato professore di Istituto Industriale, ha una particolare esperienza didattica specializzata, perchè da tempo insegna nelle Scuole per radiotelegrafisti dell'Aeronautica, e gran parte dei marconisti aeronautici d'Italia sono stati istruiti da lui. Questo libro, che egli ha consentito di scrivere, e che inizia la collezione dei « Manuali Minerva » è dunque prezioso: sobrio nel suo contenuto: ogni pagina è tecnica e serve a uno scopo. Avrà certamente grande accoglienza nelle Scuole e presso gli studiosi privati; e farà desiderare a noi tutti un altro testo, di mole maggiore, che lo stesso Autore ha in avanzata preparazione, e che sarà destinato agli Istituti Industriali e ad altri corsi e studi di simile grado; a quel testo, il presente libro di Elementi *servirà anche come avviamento.*

GIOVANNI GIORGI.

PRESENTAZIONE

ALLA SECONDA EDIZIONE (1947)

Il lavoro del Prof. Giuliani ebbe un successo che superò ogni previsione, perchè l'edizione fu esaurita nell'intervallo di poche settimane.

Questa edizione esce con miglioramenti notevoli. Il Prof. Giuliani, col suo scrupolo consueto, non ha voluto licenziare il testo alla stampa fino a che non l'ha riveduto e aggiornato tutto, ampliando notevolmente quelle parti (p. es. l'argomento delle ampolle elettroniche) che erano trattate solamente in modo riassuntivo. L'opera così completata riuscirà utile, non solamente a chi inizia lo studio, ma a chi è già avanzato nella radiotecnica.

Una lode particolare si deve al Comm. Caccia, Gerente della S. E. I., il quale ha posto in opera ogni accorgimento affinchè la veste tipografica riuscisse non inferiore a quella delle più apprezzate edizioni straniere.

L'opera dunque è pienamente degna della collezione «Minerva» e del valente Autore. Sono fiducioso che verrà accolta con lo stesso favore come l'edizione prima.

GIOVANNI GIORGI.

INDICE

Presentazione di G. Giorgi . . . . . *pag.* VI

CAPITOLO I - *Generalità sulle radiocomunicazioni.*

1 - Notizie preliminari . . . . . » 1
2 - Come avvengono le radiocomunicazioni . . . . . » 2
3 - Esempi diversi di moti oscillatori . . . . . » 3
4 - Lunghezza d'onda . . . . . » 5
5 - Che cosa è la luce . . . . . » 7
6 - Conferme sperimentali della teoria di Maxwell e invenzione della radiotelegrafia . . . . . » 11
7 - Caratteristiche delle diverse radiazioni elettromagnetiche . . . . . » 14

CAPITOLO II - *Elementi dei circuiti.*

8 - Notizie generali . . . . . » 16
9 - Vari tipi di resistenze . . . . . » 16
10 - Vari tipi di condensatori . . . . . » 19
11 - Vari tipi di bobine d'induttanza . . . . . » 27

CAPITOLO III - *Il circuito oscillante.*

12 - Notizie generali . . . . . » 32
13 - Funzionamento del circuito oscillante . . . . . » 32
14 - Oscillazioni libere e oscillazioni forzate . . . . . » 34
15 - Un paragone meccanico . . . . . » 34
16 - Periodo e frequenza delle oscillazioni libere . . . » 35
17 - Oscillazioni persistenti e oscillazioni smorzate . . » 40
18 - Condizione perchè un circuito oscilli . . . . . » 41
19 - Caratteristiche delle oscillazioni smorzate . . . . » 42

20 - Smorzamento di un circuito oscillante . . . . . *pag.* 43
21 - Influenza di *L* e di *C* sulla lunghezza d'onda . » 44
22 - Energia e potenza nei circuiti oscillanti . . . . . » 44
23 - Circuiti oscillanti chiusi ed aperti . . . . . » 45

CAPITOLO IV - *Accoppiamento dei circuiti oscillanti.*

24 - Notizie generali . . . . . » 48
25 - Fenomeno di risonanza nei circuiti accoppiati . . » 48
26 - Curva di risonanza . . . . . » 49
27 - Interreazioni tra circuiti accoppiati . . . . . » 51
28 - Misura di frequenze e di lunghezze d'onda . . . » 52

CAPITOLO V - *Gli aerei di trasmissione e la propagazione delle onde elettromagnetiche.*

29 - Notizie generali . . . . . » 54
30 - Antenne marconiane . . . . . » 54
31 - Distribuzione della corrente e della tensione lungo un aereo . . . . . » 55
32 - Lunghezza d'onda fondamentale di un aereo . . » 57
33 - Altezza efficace di un aereo . . . . . » 57
34 - Resistenza di radiazione . . . . . » 58
35 - Perdita di energia e rendimento di un aereo . . » 58
36 - Direttività degli aerei di trasmissione . . . . . » 59
37 - Dipoli hertziani . . . . . » 60
38 - Onde libere e onde semilibere . . . . . » 61
39 - Comunicazioni con raggio diretto e con raggio riflesso . . . . . » 63

CAPITOLO VI - *Dispositivi elettroacustici.*

40 - Notizie generali . . . . . » 65
41 - Microfoni . . . . . » 66
42 - Ricevitori telefonici . . . . . » 71
43 - Altoparlanti . . . . . » 72
44 - Il riproduttore grammofonico . . . . . » 76
45 - Norme per l'uso dei dispositivi elettroacustici . . » 77

CAPITOLO VII - *Le ampolle elettroniche.*

46 - Notizie generali . . . . . » 79
47 - Valvole termoioniche a due elèttrodi . . . . . » 82
48 - Elementi da cui dipende la corrente anodica. Curve caratteristiche . . . . . » 85

49 - Resistenza interna di un dìodo . . . . . *pag.* 87
50 - Funzioni che possono disimpegnare i dìodi . . . » 88
51 - Funzionamento dei dìodi come raddrizzatori . . » 88
52 - Altri tipi di raddrizzatori . . . . . » 92
53 - Notizie generali sul trìodo. . . . . » 96
54 - Studio sperimentale del comportamento di un trìodo . . . . . » 98
55 - Potenziale di riposo, d'interdizione, di saturazione . . . . . » 101
56 - Parametri caratteristici di un trìodo . . . . . » 102
57 - Relazione fondamentale tra i parametri di un trìodo . . . . . » 105
58 - Capacità interelettrodiche . . . . . » 105
59 - Impieghi pratici dei trìodi . . . . . » 106
60 - Valvole a riscaldamento indiretto del càtodo . . » 106
61 - Altri tipi di valvole termoioniche . . . . . » 107
62 - Valvole multiple . . . . . » 112
63 - Valvole a pendenza variabile . . . . . » 115
64 - Alcuni dati di funzionamento di valvole di ricezione e trasmissione . . . . . » 116

CAPITOLO VIII - *La valvola termoionica come oscillatrice.*

65 - Notizie generali . . . . . » 120
66 - Circuito fondamentale del trìodo come oscillatore » 120
67 - Influenza del grado di accoppiamento . . . . . » 122
68 - Innesco delle oscillazioni . . . . . » 122
69 - Circuiti di oscillatori . . . . . » 125

CAPITOLO IX - *La valvola termoionica come amplificatrice.*

70 - Notizie generali . . . . . » 127
71 - Teoria del trìodo come amplificatore . . . . . » 127
72 - Necessità di una polarizzazione-base di griglia . » 129
73 - Amplificatori di bassa frequenza a più valvole . » 131
74 - Collegamento del ricevitore telefonico . . . . . » 134
75 - Notizie generali sugli amplificatori di alta frequenza . . . . . » 136
76 - Vari sistemi di collegamento intervalvolare negli amplificatori di alta frequenza . . . . . » 136
77 - Comando unico nella sintonia di più circuiti accordati . . . . . » 139

78 - Oscillazioni parassite negli amplificatori di alta frequenza. - Neutralizzazione . . . . . *pag.* 139
79 - Impiego delle valvole schermate . . . . . » 141

CAPITOLO X - *Apparati di trasmissione.*

80 - Notizie generali . . . . . » 142
81 - Trasmettitori a scintilla . . . . . » 143
82 - Notizie generali sui trasmettitori a valvola . . . » 147
83 - I diversi sistemi di modulazione . . . . . » 150
84 - Il problema della stabilità dell'onda . . . . . » 154
85 - Trasmettitori di media e grande potenza . . . . » 158

CAPITOLO XI - *Rivelazione delle onde elettromagnetiche.*

86 - Notizie generali . . . . . » 159
87 - Necessità della rivelazione . . . . . » 160
88 - Caratteristiche fondamentali di un rivelatore . . » 162
89 - Rivelazione delle oscillazioni modulate . . . . . » 164
90 - Rivelazione delle oscillazioni smorzate . . . . . » 166
91 - Rivelazione delle oscillazioni persistenti non modulate . . . . . » 166
92 - Rivelatori a cristallo . . . . . » 169
93 - Rivelatori a dìodo . . . . . » 171
94 - Rivelatori a trìodo . . . . . » 171
95 - Rivelatori a reazione . . . . . » 175

CAPITOLO XII - *Apparati riceventi.*

96 - Notizie generali . . . . . » 178
97 - Ricevitori ad amplificazione diretta . . . . . » 186
98 - Ricevitori a cambiamento di frequenza . . . . . » 189
99 - Caratteristiche dei moderni ricevitori . . . . . » 195
100 - Apparecchi commerciali . . . . . » 200
101 - Disturbi alla ricezione . . . . . » 201
102 - Grandi impianti di diffusione sonora . . . . . » 203

CAPITOLO XIII - *Radiocomunicazioni direttive. Radiogoniometria.*

103 - Notizie generali . . . . . » 204
104 - Aerei direttivi per la trasmissione . . . . . » 204
105 - Ricezioni direttive a mezzo del telaio . . . . . » 207
106 - Radiogoniometri . . . . . » 209
107 - Radiofari . . . . . » 210
108 - I radar . . . . . » 212

CAPITOLO XIV - *Installazioni a bordo di automobili e di velivoli.*

109 - Notizie generali . . . . . *pag.* 213
110 - Apparecchi a bordo di automobili . . . . . » 214
111 - Apparati a bordo degli aerei . . . . . » 215

CAPITOLO XV - *Recenti applicazioni. Telemeccanica. Cinema sonoro. Televisione, ecc.*

112 - Notizie generali . . . . . » 219
113 - La telemeccanica . . . . . » 219
114 - Scandaglio del fondo marino . . . . . » 221
115 - Incisione elettrica dei dischi grammofonici . . . » 222
116 - Registrazione magnetica dei suoni . . . . . » 223
117 - Il cinema sonoro . . . . . » 224
118 - Telefonia a raggi infrarossi . . . . . » 232
119 - La telefotografia e la televisione . . . . . » 233
120 - Radiolocalizzazione a mezzo dei radar . . . . . » 246

Indice alfabetico . . . . . » 253

CAPITOLO I

GENERALITÀ SULLE RADIOCOMUNICAZIONI

1. - Notizie preliminari. — Nella telegrafia e nella telefonia ordinaria, il collegamento tra l'apparato di trasmissione e quello di ricezione è costituito da una linea metallica. Nella radiotelegrafia e nella radiotelefonia manca questo collegamento materiale: i segnali emessi dall'apparato trasmittente s'irradiano liberamente nello spazio sotto forma di una perturbazione non percepibile ai nostri sensi che prende il nome di *onda elettromagnetica*.

Che cosa sia un'onda elettromagnetica non è possibile dire per ora. Basti accennare che si tratta dell'insieme di un *campo elettrico* e di un *campo magnetico*, le cui proprietà sono note dallo studio dell'elettrotecnica. Questi campi presentano la caratteristica di non essere statici: essi, infatti, si distaccano dal conduttore che li ha generati e si propagano nello spazio con la velocità di circa 300 milioni di metri al secondo.

Perchè tale propagazione sia possibile, questi campi non devono essere prodotti a mezzo di corrente continua e neppure delle ordinarie correnti alternate, quali vengono impiegate a scopo d'illuminazione o forza motrice. La frequenza di queste correnti è solo di 40 o 50 periodi al secondo, mentre per le trasmissioni senza filo occorrono speciali correnti di frequenza elevatissima (ad es.: 1 milione di periodi al secondo e anche più) che nel linguaggio tecnico prendono il nome di *correnti oscillanti di alta frequenza*.

Aggiungiamo che le onde elettromagnetiche così ottenute hanno la stessa natura e presentano le stesse proprietà fisiche di altre radiazioni già note, quali ad es.: le radiazioni luminose, quelle calorifiche, i raggi X, ecc.

2. - Come avvengono le radiocomunicazioni. — Cercheremo di spiegare, per ora in modo molto elementare, come sia possibile trasmettere un segnale attraverso lo spazio servendosi delle onde elettromagnetiche.

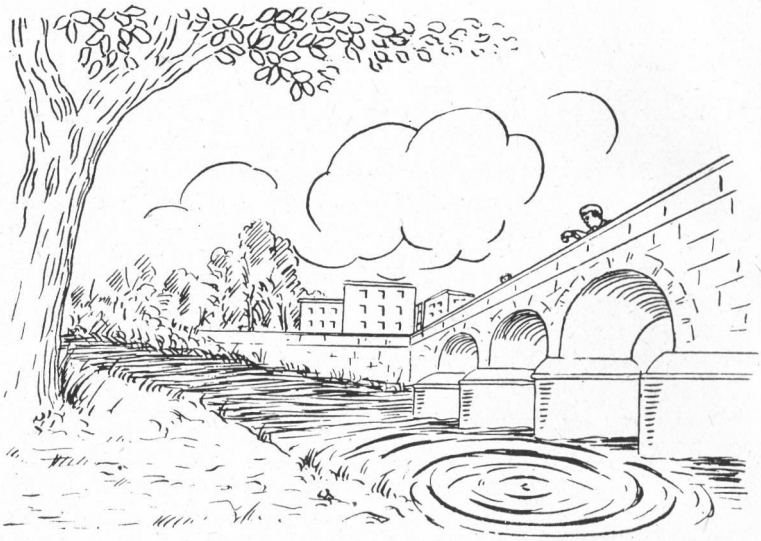


FIG. 1. - Le *onde elettromagnetiche* che hanno origine nello spazio si possono paragonare alle onde liquide che si formano alla superficie di un laghetto.

Sono necessarie due apparecchiature distinte, una per la trasmissione e l'altra per la ricezione. L'apparecchiatura della stazione trasmittente comporta come parte essenziale uno speciale circuito elettrico capace di generare le correnti oscillanti. Queste, poi, vengono portate ad attraversare l'antenna di trasmissione che di solito è costituita da un *aereo* e cioè un insieme di più conduttori sistemati ad una certa altezza e completamente isolati e da una *presa di terra* che è uno speciale collegamento col suolo, ottenuto interrando un'ampia lastra o rete metallica nel terreno umido. Il dispositivo oscillante è intercalato tra l'aereo e la presa di terra, oppure è accoppiato in modo opportuno col sistema antenna-terra. Intorno al conduttore costituente

l'aereo, attraversato dalle correnti oscillanti, si formano allora le onde elettromagnetiche.

L'apparecchio ricevente è inserito anch'esso fra un aereo e una presa di terra. Le onde elettromagnetiche provenienti dall'apparato di trasmissione colpiscono allora l'aereo di ricezione e destano in esso correnti oscillanti che sono del tutto simili a quelle generate dall'apparato trasmittente. Queste correnti, dopo aver subito un particolare processo detto di *rivelazione*, passano in un ricevitore telefonico atto a trasformarle in suoni.

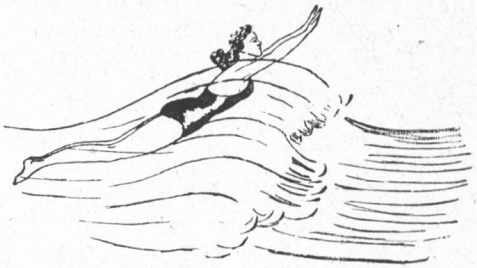


FIG. 2. - Un galleggiante, raggiunto dalle onde, oscilla verticalmente senza essere trascinato nel senso della propagazione del moto ondoso.

3. - Esempi diversi di moti oscillatori. — Per spiegare il modo di propagarsi delle onde elettromagnetiche si ricorre di solito a paragoni molto semplici con altri fenomeni che ci sono già noti.

Un sasso cade in un laghetto tranquillo (fig. 1). Si formano delle *onde* circolari che dal centro della perturbazione si propagano tutto in giro e si susseguono l'una all'altra ad intervalli eguali. Ogni punto della superficie d'acqua è perturbato, cioè oscilla verticalmente intorno alla sua posizione di riposo.

In tal modo la propagazione non è accompagnata da spostamento delle particelle liquide nel senso in cui avanzano le onde. Infatti, è facile poter osservare che un galleggiante, raggiunto dalle onde, oscilla verticalmente senza che sia trascinato nel senso della propagazione (fig. 2). Ogni particella liquida oscilla sul posto e comunica il suo movimento alle particelle immediatamente vicine.

La fotografia di fig. 3 è stata ottenuta illuminando intermittentemente, ad intervalli eguali di tempo (1), la superficie

(1) Illuminazione *stroboscopica*.

d'acqua perturbata dal moto ondoso, qualche istante dopo che si è iniziato il fenomeno.

Un esempio pure molto istruttivo si ha nella propagazione dei suoni attraverso l'aria. Come è noto, il suono è prodotto dalla vibrazione di un corpo elastico (sorgente sonora). Queste

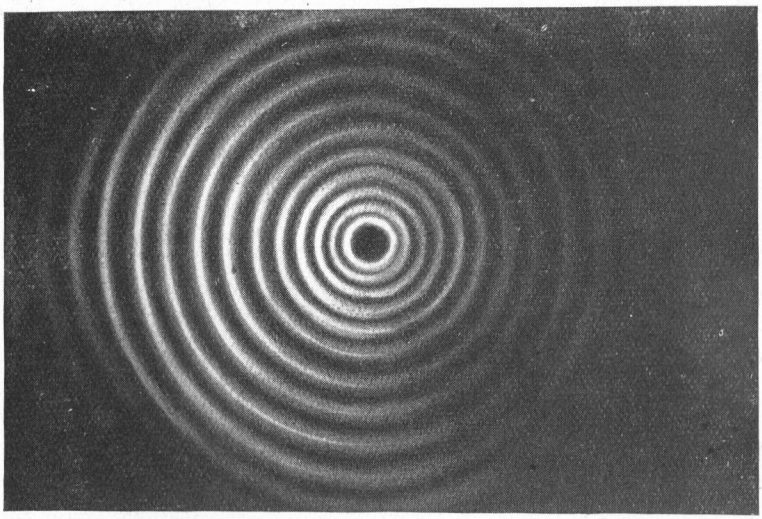


FIG. 3. - Una fotografia, ottenuta in particolari condizioni d'illuminazione, delle onde liquide alla superficie d'acqua stagnante.

vibrazioni vengono trasmesse all'aria circostante, in seno alla quale prendono origine zone alternativamente compresse e dilatate, come indica la fig. 4.

In questo caso si parla ancora di onde: infatti le zone d'aria in cui esiste un massimo di compressione o di dilatazione si spostano nel senso in cui si propaga il suono e ad esse si sostituiscono altre zone egualmente compresse e dilatate.

Un diagramma cartesiano che abbia per ascisse le distanze dei vari punti dello spazio dalla sorgente sonora e per ordinate i valori della pressione esistente in questi punti assume, nel caso più semplice, la forma di una sinusoide. Se questo diagramma viene ripetuto ad intervalli eguali di tempo, per es.

ogni centesimo di secondo, si ottengono sinusoidi spostate l'una rispetto all'altra e che nel loro insieme dànno l'idea dell'onda che si propaga in seno al mezzo. Anche in questo caso il movimento dell'onda avviene senza spostamento di particelle materiali ma per impulsi successivi che si propagano nello spazio.

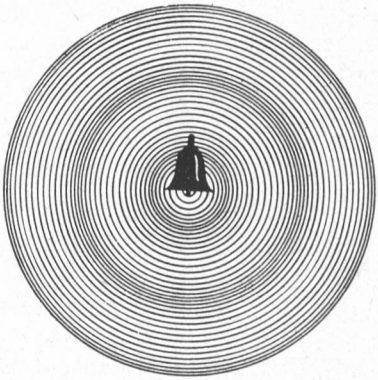


FIG. 4. - Il campo sonoro è caratterizzato dal succedersi di zone d'aria alternativamente compresse e dilatate che si spostano nello spazio nel senso della propagazione.

Quanto si verifica alla superficie di uno stagno colpita da un sasso o nell'aria eccitata da una sorgente sonora può, in certo modo, essere paragonato ai fenomeni che accompagnano la propagazione delle onde elettromagnetiche nello spazio eccitato da opportuno centro di perturbazione. Questo può essere un corpo caldo, oppure una sorgente luminosa, un tubo generatore di raggi X, un pezzetto di sostanza radioattiva ed, infine, l'antenna di una stazione radiotrasmittente. Comunque, tutte queste perturbazioni non producono (come nel caso delle onde che prendono origine alla superficie dell'acqua stagnante o in quello delle onde sonore che si generano in un mezzo elastico) la materiale oscillazione di particelle e, sebbene si parli ancora di onde, queste non sono affatto visibili nè sono da intendersi nello stesso significato ad esse attribuito negli esempi che precedono.

4. - Lunghezza d'onda. — Osservando le onde che si formano alla superficie d'un laghetto si nota che tra cresta e cresta esiste una distanza sempre eguale: questa distanza è la *lunghezza d'onda*.

Nel caso delle onde sonore o di quelle elettromagnetiche la

lunghezza d'onda è misurata dalla distanza tra due punti massimi della sinusoide che rappresenta questi campi.

La velocità delle onde elettromagnetiche è di 300 milioni di metri al secondo. Se nell'antenna trasmittente la corrente oscilla,

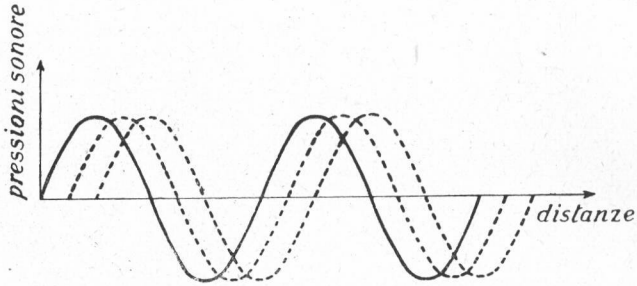


FIG. 5. - Rappresentazione grafica del campo sonoro in tre istanti successivi. *Ascisse:* le distanze dei punti dello spazio dalla sorgente sonora. *Ordinate:* valori istantanei della pressione sonora. Il diagramma si riferisce al caso di suoni semplici.

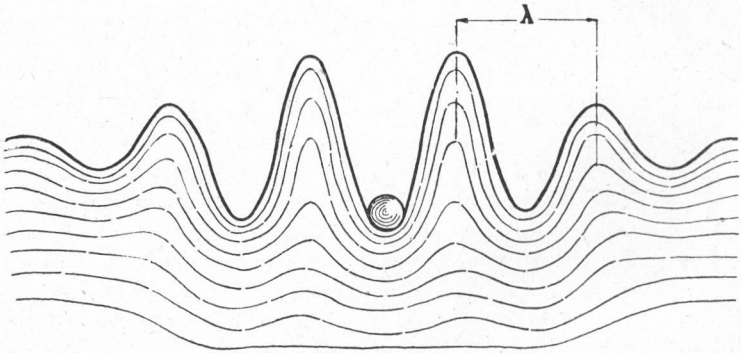


FIG. 6. - Che cosa è la *lunghezza d'onda.*

a titolo di esempio, un milione di volte al secondo, nello stesso tempo si producono altrettante onde, le quali si distribuiscono su di una lunghezza di 300 milioni di metri. Quindi ciascuna onda è lunga 300 milioni diviso 1 milione, cioè trecento metri.

In altri termini, indicando col simbolo λ la lunghezza di un'onda elettromagnetica, si può scrivere:

$$\lambda = \frac{300.000.000}{f}$$

essendo f la frequenza della corrente oscillante che l'ha generata.

Insomma, per ottenere la lunghezza d'onda che corrisponde ad una determinata frequenza della corrente oscillante, basta dividere il numero fisso 300.000.000 per tale frequenza (1).

Per calcolare invece la frequenza che corrisponde ad una certa lunghezza d'onda, si divide il numero fisso 300 milioni per tale lunghezza d'onda.

Per evitare il calcolo si può far ricorso alla seguente TABELLA I (pag. 8-9) dalla quale si deduce direttamente la frequenza che corrisponde ad una determinata lunghezza d'onda.

Occorre avvertire che la lunghezza d'onda non ha nulla a che vedere con la distanza a cui è possibile trasmettere. *Onda lunga* significa onda elettromagnetica che è stata ottenuta a mezzo di una corrente di frequenza piuttosto piccola (qualche centinaio di migliaia di periodi al secondo); mentre *onda corta* significa che la corrente di aereo ha una frequenza assai elevata (alcuni milioni di periodi al secondo).

5. - Che cosa è la luce. — Secondo le moderne teorie, come abbiamo già accennato nelle pagine precedenti, si ritiene che la luce sia una radiazione di onde elettromagnetiche come quelle che s'impiegano per le radiotrasmissioni. Ma non in tutte le epoche i fisici hanno pensato che fosse così.

ISACCO NEWTON (2) credette che ogni sorgente luminosa irradiasse nello spazio corpuscoli di massa molto piccola, capaci d'impressionare l'occhio e dare a noi la sensazione visiva.

A questa teoria detta *corpuscolare* si contrappose quella *ondu-*

(1) In verità, il valore di 300 milioni di metri al secondo da noi assegnato per la velocità delle onde elettromagnetiche è soltanto approssimato e viene assunto convenzionalmente, allo scopo di rendere più spediti i calcoli. Un valore più esatto è 299,8 milioni di metri al secondo. In base a quest'ultimo valore è stata calcolata la TABELLA I che segue.

(2) Pronunzia *Niûton*. ISACCO NEWTON, insigne fisico inglese, è vissuto dal 1642 al 1724.

TABELLA I. — LUNGHEZZA D'ONDA IN METRI E FREQUENZA IN CHILOCICLI AL SECONDO.

λ	f	λ	f	λ	f	λ	f	λ	f	λ	f	λ	f
10	29982	370	810,3	730	410,7	1090	275,1	1450	206,8	1810	165,6	2170	138,2
20	14991	380	789,0	740	405,2	1100	272,6	1460	205,4	1820	167,4	2180	137,5
30	9994	390	768,8	750	399,8	1110	270,1	1470	204,0	1930	163,8	2190	136,9
40	7496	400	749,6	760	394,5	1120	267,7	1480	202,6	1840	162,9	2200	136,3
50	5996	410	731,3	770	389,4	1130	265,3	1490	201,2	1850	162,1	2210	135,7
60	4997	420	713,9	780	384,4	1140	263,0	1500	199,9	1860	161,2	2220	135,1
70	4283	430	697,3	790	379,5	1150	260,7	1510	198,6	1870	160,3	2230	134,4
80	3748	440	681,4	800	374,8	1160	258,5	1520	197,3	1880	159,5	2240	133,8
90	3331	450	666,3	810	370,1	1170	256,3	1530	196,0	1890	158,6	2250	133,3
100	2998	460	651,8	820	365,6	1180	254,1	1540	194,7	1900	157,8	2260	132,7
110	2726	470	637,9	830	361,2	1190	251,9	1550	193,4	1910	157,0	2270	132,1
120	2499	480	624,6	840	356,9	1200	249,9	1560	192,2	1920	156,2	2280	131,5
130	2306	490	611,9	850	352,7	1210	247,8	1570	191,0	1930	155,3	2290	130,9
140	2142	500	599,6	860	348,6	1220	245,8	1580	189,8	1940	154,5	2300	130,4
150	1999	510	587,9	870	344,6	1230	243,8	1590	188,6	1950	153,8	2310	129,8
160	1874	520	576,6	880	340,7	1240	241,8	1600	187,4	1960	153,0	2320	129,2
170	1764	530	565,7	890	336,9	1250	239,9	1610	186,2	1970	152,2	2330	128,7
180	1666	540	555,2	900	333,1	1260	238,0	1620	185,1	1980	151,4	2340	128,1
190	1578	550	545,1	910	329,5	1270	236,1	1630	183,9	1990	150,7	2350	127,6
200	1499	560	535,4	920	325,9	1280	234,2	1640	182,8	2000	149,9	2360	127,0
210	1428	570	526,0	930	322,4	1290	232,4	1650	181,7	2010	149,2	2370	126,5
220	1363	580	516,9	940	319,0	1300	230,6	1660	180,6	2020	148,4	2380	126,0
230	1304	590	508,2	950	315,6	1310	228,9	1670	179,5	2030	147,7	2390	125,4
240	1249	600	499,7	960	312,3	1320	227,1	1680	178,5	2040	147,0	2400	124,9
250	1199	610	491,5	970	309,1	1330	225,4	1690	177,4	2050	146,3	2410	124,4
260	1153	620	483,6	980	305,9	1340	223,7	1700	176,4	2060	145,5	2420	123,9
270	1110	630	475,9	990	302,8	1350	222,1	1710	175,3	2070	144,8	2430	123,4
280	1071	640	468,5	1000	299,8	1360	220,5	1720	174,3	2080	144,1	2440	122,9
290	1034	650	461,3	1010	296,9	1370	218,8	1730	173,3	2090	143,5	2450	122,4
300	999,4	660	454,3	1020	293,9	1380	217,3	1740	172,3	2100	142,8	2460	121,9
310	967,2	670	447,5	1030	291,1	1390	215,7	1750	171,3	2110	142,1	2470	121,4
320	936,9	680	440,9	1040	288,3	1400	214,2	1760	170,4	2120	141,4	2480	120,9
330	908,5	690	434,5	1050	285,5	1410	212,6	1770	169,4	2130	140,8	2490	120,4
340	881,8	700	428,3	1060	282,8	1420	211,1	1780	168,4	2140	140,1	2500	119,9
350	856,6	710	422,3	1070	280,2	1430	209,7	1790	167,5	2150	139,5	2510	119,5
360	832,8	720	416,4	1080	277,6	1440	208,2	1800	166,6	2160	138,8	2520	119,0

λ	f	λ	f	λ	f	λ	f	λ	f	λ	f	λ	f
2530	118,5	2890	103,7	3500	85,66	4220	71,05	4940	60,69	6650	45,09	8450	35,48
2540	118,0	2900	103,4	3520	85,18	4240	70,71	4960	60,45	6700	44,75	8500	35,27
2550	117,6	2910	103,0	3540	84,69	4260	70,38	4980	60,20	6750	44,42	8550	35,07
2560	117,1	2920	102,7	3560	84,22	4280	70,05	5000	59,96	6800	44,09	8600	34,86
2570	116,7	2930	102,3	3580	83,75	4300	69,73	5050	59,37	6850	43,77	8650	34,66
2580	116,2	2940	102,0	3600	83,28	4320	69,40	5100	58,79	6900	43,45	8700	34,46
2590	115,8	2950	10.16	3620	82,82	4340	69,08	5150	58,22	6950	43,14	8750	34,27
2600	115,3	2960	101,3	3640	82,37	4360	68,77	5200	57,66	7000	42,83	8800	34,07
2610	114,9	2970	100,9	3660	81,92	4380	68,45	5250	57,11	7050	42,53	8850	33,88
2620	114,4	2980	100,6	3680	81,47	4400	68,14	5300	56,57	7100	42,23	8900	33,69
2630	114,0	2990	100,3	3700	81,03	4420	67,83	5350	56,04	7150	41,93	8950	33,50
2640	113,6	3000	99,94	3720	80,60	4440	67,53	5400	55,52	7200	41,64	9000	33,31
2650	113,1	3020	99,28	3740	80,17	4460	67,22	5450	55,01	7250	41,35	9050	33,13
2660	112,7	3040	98,62	3760	79,74	4480	66,92	5500	54,51	7300	41,07	9100	32,95
2670	112,3	3060	97,98	3780	79,32	4500	66,63	5550	54,02	7350	40,79	9150	32,77
2680	111,9	3080	97,34	3800	78,90	4520	66,33	5600	43,54	7400	40,52	9200	32,59
2690	111,5	3100	96,72	3820	78,49	4540	66,04	5650	53,07	7450	40,24	9250	32,41
2700	111,0	3120	96,10	3840	78,08	4560	65,75	5700	52,60	7500	39,98	9300	32,24
2710	110,6	3140	95,48	3860	77,67	4580	65,46	5750	52,14	7550	39,71	9350	32,07
2720	110,2	3160	94,88	3880	77,27	4600	65,18	5800	51,69	7600	39,45	9400	31,90
2730	109,8	3180	94,28	3900	76,88	4620	64,90	5850	51.25	7650	39,19	9450	31,73
2740	109,4	3200	93,69	3920	76,48	4640	64,62	5900	50,82	7700	38,94	9500	31,56
2750	109,0	3220	93,11	3940	76,10	4660	64,34	5950	50,39	7750	38,69	9550	31,39
2760	108,6	3240	92,54	3960	75,71	4680	64,06	6000	49,97	7800	38,44	9600	31,23
2770	108,2	3260	91,97	3980	75,33	4700	63,79	6050	49,56	7850	38,19	9650	31,07
2780	107,8	3280	91,41	4000	74,96	4720	63,52	6100	49,15	7900	37,95	9700	30,91
2790	107,5	3300	90,85	4020	74,58	4740	63,25	6150	48,75	7950	37,71	9750	30,75
2800	107,1	3320	90,31	4040	74,21	4760	62,99	6200	48,36	8000	37,48	9800	30,59
2810	106,7	3340	89,77	4060	73,85	4780	62,72	6250	47,97	8050	37,24	9850	30,44
2820	106,3	3360	89,23	4080	73,49	4800	62,46	6300	47,59	8100	37,01	9900	30,28
2830	105,9	3380	88,70	4100	73,13	4820	62,20	6350	47,22	8150	37,79	9950	30,13
2840	105,6	3400	88,18	4120	72,77	4840	61,95	6400	46,85	8200	36,56	10000	29,98
2850	105,5	3420	87,67	4140	72,42	4860	61,69	6450	46,48	8250	36,34		
2860	104,2	3440	87,16	4160	72,07	4880	61,44	6500	46,13	8300	36,12		
2870	104,8	3460	86,65	4180	71,73	4900	61,19	6550	45,77	8350	35,91		
2880	104,1	3480	86,16	4200	71,39	4920	60,94	6600	45,43	8400	35,69		

latoria elaborata da HUYGHENS (1) il quale suppose che la luce fosse provocata dalle rapidissime vibrazioni delle particelle più piccole della materia. Si tratterebbe di vere e proprie vibrazioni meccaniche che, trasmesse al mezzo circostante, si dovrebbero propagare sotto forma di onde, riproducendo in seno al mezzo lo stesso fenomeno che si osserva alla superficie d'acqua stagnante perturbata dalla caduta di un sasso.

Ma quale è il mezzo in cui avverrebbe questa propagazione? Fu esclusa l'ipotesi che fosse l'aria. Infatti è noto a tutti che la luce si propaga anche nel vuoto. E poi le particelle d'aria, a causa della loro notevole massa, sarebbero troppo inerti per vibrare con l'eccezionale rapidità che si riscontra nei fenomeni luminosi (si pensi che le radiazioni violette corrispondono ad una frequenza di 833 trilioni di oscillazioni al secondo).

Fu così che i fisici formularono l'ipotesi che tutto lo spazio, anche quello che noi chiamiamo *vuoto*, fosse riempito da un mezzo tenuissimo ed eccezionalmente elastico in seno al quale potesse propagarsi l'onda luminosa. A questo mezzo ipotetico fu dato il nome di *etere cosmico*.

Questa teoria fu ritenuta esatta per molti anni. Ma nel 1873 il fisico inglese MAXWELL (2) dimostrò per via teorica che le vibrazioni meccaniche dell'etere cosmico sono inesistenti e dette una spiegazione del tutto diversa della natura dei fenomeni luminosi.

Secondo la teoria proposta da MAXWELL, ogni sorgente luminosa possiede un numero estremamente grande di corpuscoli elettrizzati i quali oscillano rapidamente intorno alla loro posizione di riposo, come potrebbe accadere entro un conduttore di minime dimensioni. Questi corpuscoli, come si è appreso poi, esistono effettivamente in tutti i corpi e sono gli elettroni contenuti negli atomi.

Le rapide oscillazioni delle cariche elettriche danno luogo all'irradiazione di campi elettrici e magnetici che nel loro insieme costituiscono il raggio di luce. In seguito, si è accertato che anche altre forme di energia raggiante come il calore, i raggi X, i raggi ultravioletti, e alcune radiazioni emesse dalle

(1) Pronunzia *Hüchens* CRISTIANO HUYGENS, fisico e matematico olandese, visse dal 1629 al 1695.

(2) MAXWELL JAMES CLERK, nato a Edimburgo nel 1831, morto a Cambridge nel 1879.

sostanze radioattive, sono spiegabili allo stesso modo. La differenza fisica tra una di queste radiazioni e l'altra è dovuta alla diversa frequenza del moto oscillatorio delle cariche elettriche che ha provocato la radiazione stessa (e quindi alla diversa lunghezza d'onda).

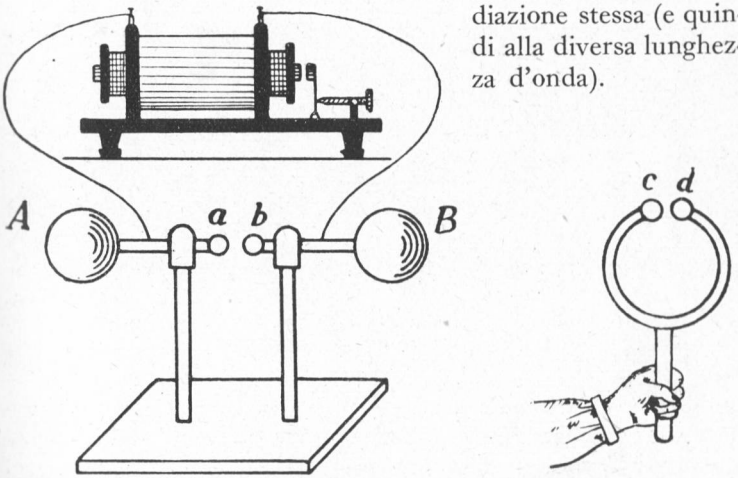


Fig. 7. - Disposizione schematica degli apparati impiegati da Hertz nei suoi famosi esperimenti sulle onde elettromagnetiche.

6. - Conferme sperimentali della teoria di Maxwell e invenzione della radiotelegrafia. — L'ipotesi formulata da Maxwell fu accolta con una certa diffidenza dai fisici suoi contemporanei. Ma nel 1887 il mondo scientifico fu improvvisamente risvegliato nell'apprendere che il fisico tedesco Hertz (1) era riuscito a comprovare sperimentalmente l'esistenza delle onde elettromagnetiche.

L'apparecchiatura impiegata da Hertz nei suoi esperimenti consta di due aste metalliche che terminano con due sfere *A* e *B* mentre agli altri estremi vi sono due sferette *a* e *b* di piccolo diametro. Le due aste sono sostenute da supporti isolanti e si collegano ai poli di un rocchetto di Ruhmkorff. Questo dispositivo costituisce

(1) Hertz Enrico Rodolfo, nato ad Amburgo il 22 febbraio 1857, morto a Bonn il 1° gennaio 1894.

l'*oscillatore* e serve a generare le onde elettromagnetiche. Per l'elevata differenza di potenziale applicata alle due sferette scocca tra queste una scintilla la quale, osservata in uno specchio rapidamente rotante, si presenta come è visibile nella fotografia di fig. 8. L'alter-

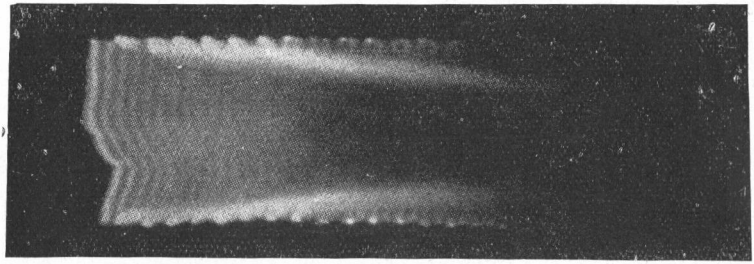


FIG. 8. - Fotografia della scintilla ottenuta tra le sferette dell'oscillatore di HERTZ (Scintilla di FEDDERSEN).

narsi di zone chiare con zone scure mostra che la scintilla è oscillante vale a dire presenta in alcuni istanti un massimo d'intensità (corrente massima attraverso l'oscillatore), mentre in altri istanti si spegne del tutto (corrente zero). Il dispositivo realizzato da HERTZ veniva a costituire un *circuito oscillatorio*, vale a dire un circuito attraverso il quale le cariche elettriche possono assumere moti vibratori di frequenza assai elevata, come sarà spiegato al capitolo III.

Al rapido alternarsi della scarica elettrica si produce nello spazio circostante all'oscillatore la perturbazione elettromagnetica. Per metterla in evidenza, HERTZ impiegava un cosiddetto *risonatore*, costituito da un cerchio metallico aperto in un punto in modo da lasciare un intervallo d'aria di qualche millimetro. Per azione delle onde elettromagnetiche emesse dall'oscillatore si producono tra le sferette del risonatore piccole scintille provocate dalle correnti che vengono indotte in esso. HERTZ poteva così seguire il cammino percorso dalle radiazioni e accertava che queste possedevano tutte le proprietà dei raggi luminosi: si propagavano in linea retta, si lasciavano riflettere a mezzo di specchi metallici, si rifrangevano in prismi di paraffina, ecc.

Le ricerche sulla produzione delle onde elettromagnetiche furono continuate in Italia da RIGHI (1) il quale, modificando

(1) RIGHI AUGUSTO, nato a Bologna nel 1850, morto ivi l'8 giugno 1921.

l'oscillatore a sfere impiegato da HERTZ, riuscì ad ottenere onde ancora più corte, cioè di frequenza assai elevata.

Ma tutte queste esperienze non avevano lo scopo di realizzare una vera e propria trasmissione di segnali a distanza. Gli sperimentatori che ad esse si erano dedicati si proponevano solo lo studio sistematico delle oscillazioni elettriche allo scopo di poter dimostrare l'esattezza delle teorie formulate da MAXWELL. Essi erano riusciti a rivelare la presenza delle onde elettromagnetiche solo a distanza di qualche metro dall'oscillatore. Il merito di GUGLIELMO MARCONI (1) è quello di aver intuito che la portata di queste onde poteva sconfinare dai limiti di un laboratorio scientifico e che era possibile realizzare trasmissione di segnali a distanza praticamente illimitata.

Per ottenere questo, MARCONI pensò di aumentare l'energia irradiata dall'oscillatore, collegando uno dei poli ad un lungo filo isolato nello spazio e l'altro polo alla terra a mezzo di un'ampia lastra metallica interrata nel suolo umido. Pensò pure di aumentare la sensibilità del ricevitore collegandolo ad un aereo simile a quello usato per la trasmissione e ad una presa di terra. Inoltre utilizzò un nuovo sistema per la rivelazione delle onde elettromagnetiche, chiamato *coherer a polveri metalliche* (2).

I primi tentativi di radiotelegrafia furono eseguiti nella villa Marconi a Pontecchio poco lontano da Bologna, nella primavera del 1895 e si ottennero trasmissioni sino alla distanza di alcune centinaia di metri superando l'ostacolo di una collina.

Esperimenti di portata maggiore furono realizzati da MARCONI in Inghilterra ove nel 1899 si ottennero trasmissioni soddisfacenti a distanza di 136 km.

Il 12 dicembre 1901 i segnali radiotelegrafici attraversavano per la prima volta l'Atlantico da Poldhu in Inghilterra a Terranova nel Nord America. Fu così provato sperimentalmente che, in certe condizioni, le onde elettromagnetiche possono seguire la curvatura della terra e superare gli ostacoli frapposti dalle montagne. Questo risul-

(1) Nato a Bologna il 25 aprile 1874, morto a Roma il 20 luglio 1937.

(2) Il *coherer* consta di un tubicino di vetro riempito di limatura di nichel e argento. Agli estremi del tubicino sono saldati due fili d'argento, a contatto con la limatura. Il coherer fu inventato dal fisico italiano TEMISTOCLE CALZECCHI-ONESTI e successivamente perfezionato dal francese BRANLY e dallo stesso MARCONI.

tato era in apparente contraddizione con la teoria secondo la quale le onde impiegate nelle radiotrasmissioni sono della stessa natura

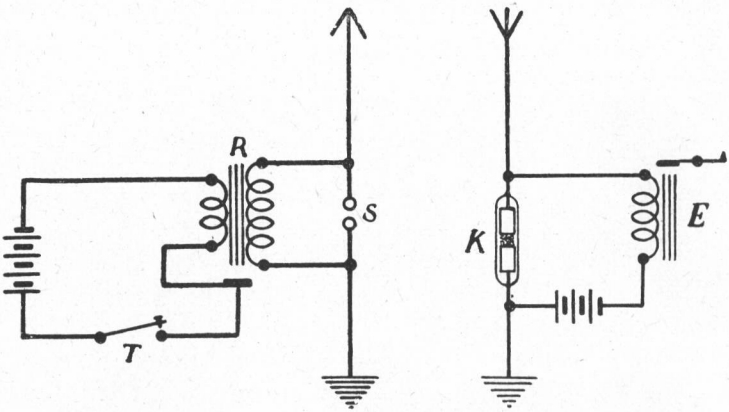


FIG. 9. - Disposizione schematica degli apparati impiegati da MARCONI nei primi esperimenti di radiotelegrafia. *A sinistra:* il trasmettitore e *a destra:* il ricevitore.

della luce. Le onde luminose, infatti, non seguono la curvatura del terreno e non sono capaci di aggirare un ostacolo frapposto alla loro propagazione.

Del modo particolare di propagarsi delle radioonde sarà data spiegazione al capitolo V.

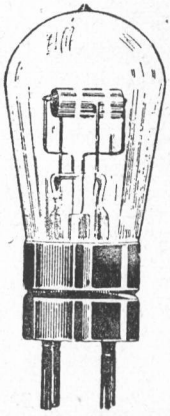


FIG. 10. - Una delle prime valvole termoioniche impiegate in radiotelegrafia.

La valvola termoionica, scoperta in America non molto dopo delle esperienze di MARCONI, doveva poi rivoluzionare addirittura la tecnica delle radiotrasmissioni, permettendo di conseguire quei meravigliosi risultati ai quali oggi siamo abituati, ma che quasi non era dato sperare durante il corso dei primi esperimenti.

7. - Caratteristiche delle diverse radiazioni elettromagnetiche. — Riassumendo quanto esposto: luce, calore, radiazioni ultraviolette, raggi X e radioonde sono tutti fenomeni di natura elettromagnetica e differiscono

tra loro solo per la diversa frequenza e quindi per la diversa lunghezza d'onda.

Le onde elettromagnetiche impiegate nelle radiotrasmissioni sono le radiazioni di frequenza più bassa cioè di maggiore lunghezza d'onda. Tutta la gamma impiegabile si estende da 15.000 periodi al secondo sino a 3 miliardi circa di cicli al secondo, mentre si fanno esperienze con radiazioni di frequenza ancora più elevata. Con la formula scritta al n° 4 possiamo calcolare i limiti delle rispettive lunghezze d'onda:

$$\lambda = \frac{300.000.000}{15.000} = 20.000 \text{ metri}$$

$$\lambda = \frac{300.000.000}{3.000.000.000} = 0{,}1 \text{ metri.}$$

In pratica si è stabilita la seguente classificazione delle radioonde:

Onde lunghissime	da 20 km a 3 km;
» *lunghe*	da 3 km a 600 metri;
» *medie*	da 600 m a 200 metri;
» *mediocorte*	da 200 m a 50 metri;
» *corte*	da 50 m a 10 metri;
» *ultracorte*	da 10 m a 1 metro;
Microonde	inferiori a 1 metro.

Gli altri fenomeni elettromagnetici (calore, luce, ecc.) sono invece radiazioni di frequenza assai più elevata. Per i *raggi gamma*, emessi dalle sostanze radioattive, si è calcolata una frequenza di 300 mila milioni di miliardi di oscillazioni al secondo!

CAPITOLO II

ELEMENTI DEI CIRCUITI

8. - Notizie generali. — I circuiti impiegati in radiotecnica, per la costruzione degli apparati sia riceventi che trasmittenti, spesso si presentano molto complicati. Ma, in sostanza, essi sono costituiti da tre soli elementi essenziali: *resistenze*, *bobine d'induttanza* e *condensatori*.

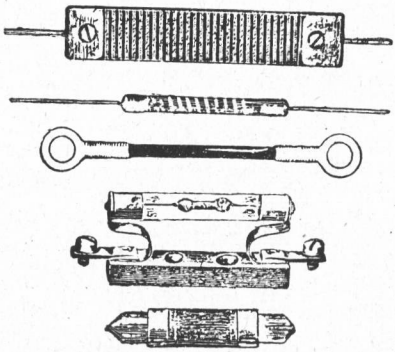


FIG. 11. - Alcuni tipi di resistenze impiegate per la costruzione di radioricevitori.

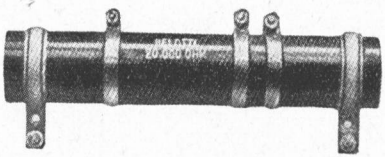


FIG. 12. - Un partitore di tensione.

9. - Vari tipi di resistenze. — Le resistenze impiegate in pratica si possono così classificare: *a*) resistenze *fisse; b*) resistenze *variabili; c*) resistenze *semifisse*.

Le resistenze fisse hanno un valore determinato non suscettibile di alcuna regolazione. Sono costituite da un tubetto isolante sul quale è avvolto un sottilissimo filo metallico di elevata resistività, oppure da agglomerati semiconduttori foggiati a cilindretti e smaltati esternamente. La resistenza è munita di due fili termi-

nali o due attacchi che servono per il collegamento al circuito esterno (fig. 11).

Di uso molto comune è la così detta resistenza *flessibile*, costituita da un cordoncino di seta sul quale è avvolto a spirale un sottile filo di nichelcromo. In generale, il fabbricante indica la resistenza per metro di conduttore così ottenuto, in modo che sia facile tagliarne la lunghezza necessaria a formare la resistenza che si richiede. Agli estremi del tratto di cordoncino

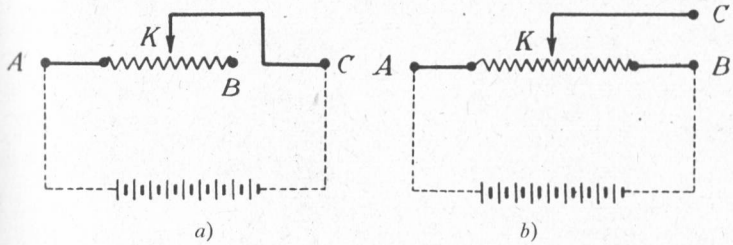


FIG. 13. - Schemi d'inserzione: *a*) di *reostato; b*) di *potenziometro.*

vengono fissati due terminali e la resistenza ottenuta viene protetta con tubicino di tela sterlingata.

Le resistenze fisse vengono ordinariamente impiegate in radiotecnica per produrre cadute di tensioni in determinati tratti di un circuito, per accoppiare diversi stadi tra loro, per limitare il passaggio di corrente, ecc.

Un tipo particolare di resistenza fissa è il così detto *partitore di tensione*, illustrato in fig. 12. Si tratta di un cilindretto di steatite o altro materiale refrattario sul quale è inciso un solco elicoidale destinato a contenere il filo metallico di elevata resistività. Speciali collarini metallici possono essere fissati nella posizione più opportuna. Applicando agli estremi della resistenza un dato potenziale, si possono ricavare potenziali più bassi a piacere, collegando il circuito di utilizzazione ad una coppia di questi collarini, che costituiscono delle prese intermedie.

Le resistenze variabili si classificano in reostati e potenziometri.

I *reostati* sono costituiti da un filo metallico di elevata resi-

stività e di sezione adatta all'intensità di corrente che deve attraversarlo, di cui un estremo fa capo ad un morsetto *A* e l'altro è libero. Lungo il conduttore si sposta un cursore *K* che ne include nel circuito un tratto più o meno lungo e quindi fa variare il valore della resistenza.

Negli apparati trasmittenti i reostati trovano largo impiego per regolare l'eccitazione dei generatori, l'intensità di corrente nei filamenti delle valvole, ecc. Nei circuiti riceventi servono

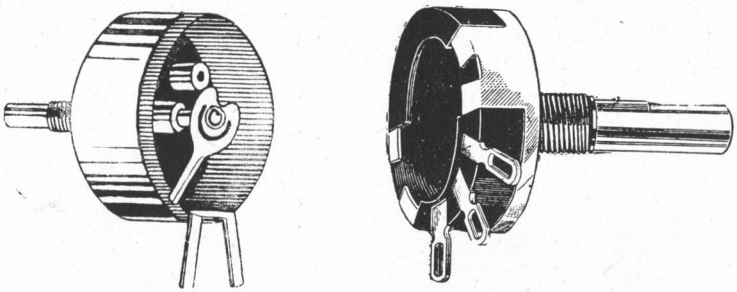


FIG. 14. - Un reostato e un potenziometro per apparecchi riceventi.

quasi esclusivamente per regolare il grado di accensione delle valvole, per modificare il tono della riproduzione acustica, e per sopprimere oscillazioni parassite nei circuiti.

I così detti *potenziometri* (o meglio resistenze di tipo potenziometrico, perchè il nome di potenziometri spetta ad apparecchi di alta precisione che servono per la misura dei potenziali) sono costruttivamente identici ai reostati, però gli estremi del filo di resistenza sono collegati a due morsetti terminali *A* e *B* (fig. 13 *b*), mentre un cursore scorrevole crea un terzo contatto lungo il filo. In alcuni tipi di resistenze potenziometriche, destinate ad essere attraversate da correnti molto deboli, il conduttore non è costituito da filo metallico ma da uno strato uniforme di grafite depositato sopra una striscia di fibra od altro materiale isolante. I potenziometri vengono impiegati per variare, entro certi limiti, la tensione applicata a qualche elemento di un circuito; a regolare il volume dei suoni ritraibile da un amplificatore o da un radioricevitore, ecc.

La fig. 14 illustra la forma costruttiva che suole darsi, in pratica, ai reostati e ai potenziometri. Si usano anche potenziometri sul cui asse sono montati piccoli interruttori o commutatori.

Nell'impiego pratico delle resistenze per i circuiti della radiotecnica, non solo è necessario stabilire il loro valore in ohm, ma anche la potenza che esse possono dissipare. Quest'ultimo dato si ottiene moltiplicando il valore della resistenza per il quadrato dell'intensità di corrente che può attraversarla senza produrre un riscaldamento eccessivo. Negli ordinari ricevitori si usano resistenze di valori svariatissimi: da pochi ohm, sino a molti milioni di ohm. Le potenze dissipate in generale sono di 1/4 di watt, 1/2 watt, 1 watt ed eccezionalmente sino a 5 watt e più.

10. - Vari tipi di condensatori. — Come è noto dallo studio dell'elettrotecnica, i condensatori sono costituiti da due armature metalliche o, meglio, due gruppi di armature metalliche separate da opportuna sostanza isolante (dielettrico). È anche noto il modo di comportarsi dei condensatori allorchè siano inseriti nei circuiti e che cosa debba intendersi per capacità di un condensatore la cui unità di misura è il *farad*.

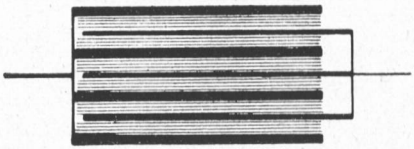


FIG. 15. - Sezione schematica di un condensatore a pacchetto.

In elettrotecnica s'insegna pure che la capacità di un condensatore dipende dalla natura della sostanza isolante impiegata come dielettrico, e aumenta se aumenta la superficie affacciata delle armature metalliche, mentre diminuisce se si fa crescere la distanza tra esse.

I condensatori impiegati nelle costruzioni radioelettriche sono di vario tipo: *fissi*, *variabili*, *semifissi*.

I condensatori fissi sono quelli che hanno un valore costante di capacità e si classificano, in generale, secondo la qualità della sostanza impiegata come dielettrico: condensatori *ad aria*, *a carta*, *a mica*, ecc.

Si classificano pure secondo la loro forma costruttiva in condensatori *a pacchetto* e *a rotolo*.

Il condensatore a pacchetto risulta dalla sovrapposizione di foglioline di stagnola, alternate con sottili strisce isolanti. Il tutto è serrato tra due guance in modo da assicurare la più completa invariabilità della distanza tra le armature, condizione essenziale perchè si conservi costante la capacità. I due gruppi di armature sono munite di attacchi o serrafili per il collegamento al circuito. Il dielettrico d'impiego più comune in questo tipo di condensatori è la buona mica bianca (*muscovite*).

Si costruiscono condensatori a pacchetto di capacità compresa tra pochi *picofarad* (1) sino ad un massimo di qualche *microfarad*.

Per costruire condensatori di capacità più elevata, senza accrescere molto l'ingombro, si presta bene il tipo a rotolo,

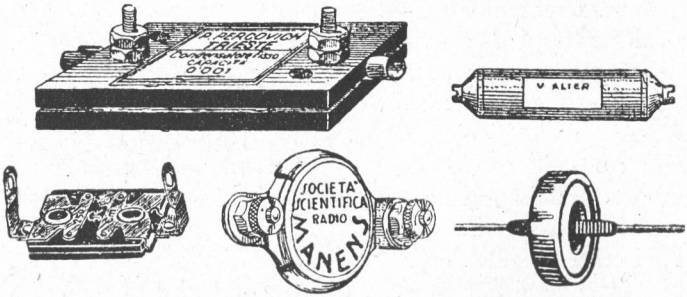


FIG. 16. - Alcuni tipi di condensatori fissi.

costituito da due lunghe strisce di stagnola (*armature*) separate tra loro da fogli di carta impregnata di paraffina (*dielettrico*). Del tutto si forma un rotolo, come mostra schematicamente la figura 17 *a*), che viene sottoposto ad un processo di essiccazione,

(1) Unità di misura della capacità è il *farad*. Ma è impossibile, tecnicamente, costruire condensatori che raggiungano tale capacità. Pertanto, sono di uso molto comune, i sottomultipli del farad, e principalmente il *microfarad* che vale 1 milionesimo di farad e il *micromicrofarad*, detto anche *picofarad*, che vale 1 milionesimo di milionesimo dell'unità fondamentale.

a temperatura moderata, in forni speciali nei quali è mantenuto un certo grado di vuoto, poi viene immerso in paraffina fusa, schiacciato e chiuso in scatola metallica. A contatto con le armature vengono preventivamente predisposte due striscioline metalliche che si saldano ai terminali del condensatore. Questo si presenta come è visibile in fig. 17 *b*).

Un tipo di condensatore fisso molto adoperato nei moderni radioricevitori è quello *elettrolitico*, costituito da due elèttrodi di alluminio purissimo immersi in opportune soluzioni, ad es. fosfato ammonico o borato ammonico. Il condensatore viene preventivamente sottoposto ad un processo di *formazione* che consiste nell'applicare, per un certo tempo, una tensione continua,

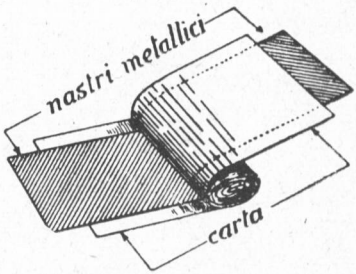


FIG. 17 *a*). - Disposizione schematica delle varie parti di un condensatore a rotolo.

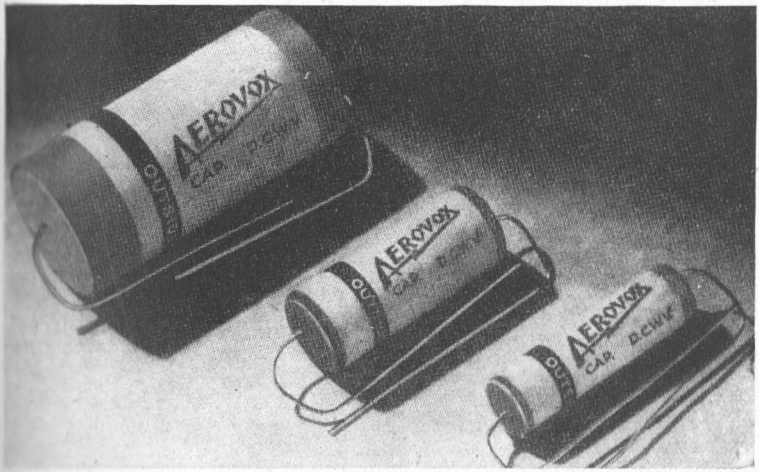


FIG. 17 *b*). - Condensatori a rotolo montati in custodia, con terminali.

in modo che la soluzione sia attraversata da una corrente di determinata intensità. In tal modo, viene a formarsi sulla lastra positiva una sottilissima pellicola di ossido di alluminio che ha un ottimo potere dielettrico. Con tensioni di formazione di 20 ÷ 30 volt, si ottiene una pellicola dello spessore di qualche centomillesimo di mm (cioè 0,01 micron); facendo la formazione con potenziali più elevati, 300 ÷ 400 volt, la pellicola di ossido raggiunge lo spessore di

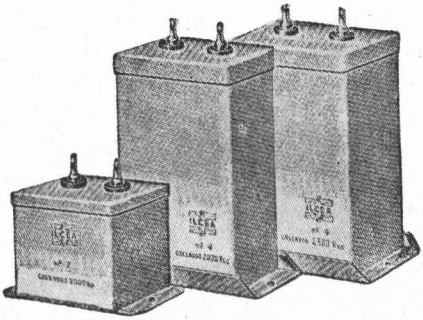


FIG. 18. - Condensatori a carta di elevata capacità.

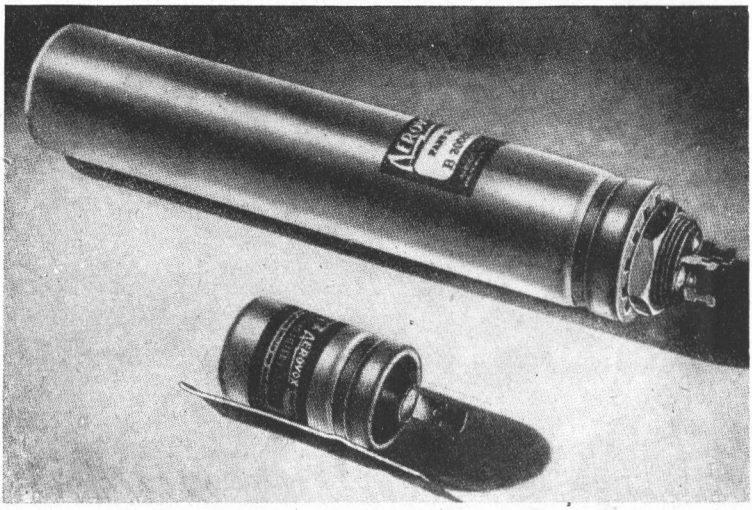


FIG. 19. - Condensatori elettrolitici.

circa 1 millesimo di millimetro (1 micron). In questo tipo particolare di condensatore, la lastra positiva costituisce una delle

armature; il dielettrico è la pellicola di ossido di alluminio; e l'altra armatura è il liquido stesso, mentre la lastra negativa serve esclusivamente come conduttore. In conseguenza del minimo spessore del dielettrico e della sua elevata capacità specifica è possibile, in questi tipi di condensatori, raggiungere capacità notevoli con dimensioni sufficientemente ridotte.

In generale, si raggiunge nei tipi moderni una capacità di 1 microfarad per ogni 5 centimetri quadrati di superficie attiva.

Lo spessore del dielettrico, ottenuto per formazione, influisce sul valore di tensione cui il condensatore può essere sottoposto.

I condensatori elettrolitici si costruiscono sia nel tipo *umido* che *secco*.

Il condensatore del tipo umido è costituito da un recipiente cilindrico di alluminio, che funziona pure da elèttrodo negativo; al centro, e perfettamente isolato dall'altro, passa l'elèttrodo positivo costituito da una lastra di alluminio puro arrotolata a larga spirale. Il recipiente è riempito dal liquido e perciò deve essere a perfetta tenuta. In qualche tipo si aggiunge una piccola valvola che consente ai gas o vapori che si formassero nell'interno per eccessivo riscaldamento prodotto da un sovraccarico di corrente, di uscire fuori, evitando l'esplosione del recipiente.

Questi condensatori sono muniti di dado a vite e si possono fissare direttamente al telaio del radioricevitore, in modo che l'elèttrodo negativo esterno sia a contatto con la massa metallica.

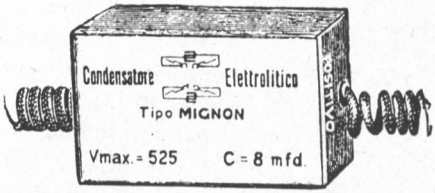


FIG. 20. - Condensatore elettrolitico a secco.

Molto comune è anche il condensatore elettrolitico secco, costituito da due strisce di alluminio tenute a distanza da uno strato di garza. La lastra positiva viene sottoposta al processo di formazione prima della costruzione del condensatore e quindi essa è già ricoperta dello strato di ossido di alluminio che deve fungere da dielettrico.

Lo strato di garza è imbevuto di soluzione elettrolitica, ma non ha alcuna funzione come dielettrico del condensatore, perchè come tale funge solo la pellicola di ossido che ricopre la lastra positiva. Pertanto la distanza tra i due nastri metallici non ha influenza sul valore di capacità.

La striscia così ottenuta si arrotola e, in generale, viene poi chiusa in una scatoletta di cartone dalla quale escono i due terminali.

I condensatori elettrolitici sono del tipo *polarizzato*, cioè devono essere inseriti nei circuiti in modo che l'elèttrodo sul quale è depositato lo strato di ossido sia collegato sempre col polo positivo della sorgente di f. e. m. Una inversione dei collegamenti danneggerebbe il condensatore. È logico che essi non possono essere inseriti nei circuiti percorsi da correnti alternate.

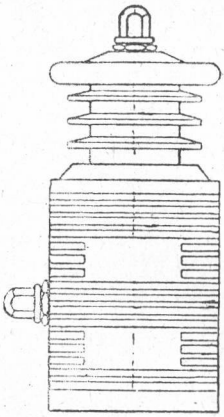


FIG. 21. - Condensatore per apparati trasmittenti.

I condensatori elettrolitici si costruiscono in generale per capacità di 4 microfarad, 8 microfarad (e questo è un tipo molto adoperato), 16 e 32 microfarad, per tensioni sino a 600 volt; oppure in tipi più piccoli, di capacità sino a 50 microfarad, per tensioni di esercizio fino a 50 volt, detti « *condensatori catòdici* ». Sono impiegati specialmente come condensatori di filtro, in unione a bobine di elevata induttanza, per trasformare le correnti pulsanti fornite dalle valvole raddrizzatrici in correnti continue costanti.

Per le stazioni trasmittenti si impiegano condensatori fissi particolarmente studiati e costruiti per resistere alle elevate tensioni in gioco in simili apparati.

La fig. 21 illustra un tipo di condensatore per trasmissione costruito in Italia.

Molto importanti in radiotecnica sono i *condensatori variabili* i quali consentono una variazione graduale di capacità tra un valore minimo e un valore massimo. Questa variazione si po-

trebbe ottenere in due modi: o allontanando le armature, in modo che ad una maggiore distanza corrisponda una minore capacità; o facendo ruotare un sistema di armature mobili calettate tutte sopra uno stesso asse, rispetto a un altro sistema di armature fisse, in modo da realizzare una variazione della superficie affacciata e quindi della capacità. Quest'ultimo sistema è quello generalmente impiegato in pratica (fig. 22). Le armature fisse e quelle mobili sono elettricamente isolate tra loro e il condensatore deve essere costruito in modo che durante la rotazione non abbia a manifestarsi alcun contatto tra le armature e che resti invariata la distanza che intercede tra ciascuna armatura fissa e quella mobile.

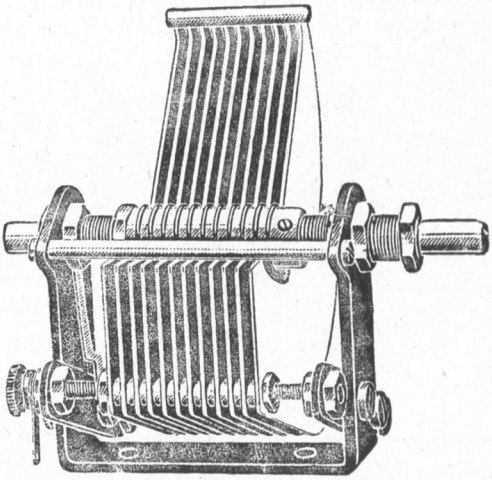


FIG. 22. - Condensatore variabile. La variazione di capacità viene ottenuta facendo ruotare il gruppo di armature mobili rispetto a quelle fisse.

Ha molta importanza la forma che si assegna alle armature. Se queste fossero semicircolari, si realizzerebbe il caso più semplice di dipendenza del valore di capacità rispetto all'angolo di cui si è fatto ruotare l'armatura mobile, in quanto ad un angolo doppio corrisponderebbe una capacità doppia. Tali condensatori risultano dunque *a variazione lineare di capacità*. Essi trovano impiego in circuiti speciali e particolarmente nel campo delle misure. Ma nella costruzione di apparati radioriceventi o radiotrasmittenti, si richiede, in generale, che la legge di variazione della capacità in funzione dell'angolo di rotazione sia più complessa. Ed è per questo, che i condensatori variabili che vediamo montati su i nostri apparecchi riceventi hanno armature di forma piuttosto allungata che si avvicina a quella della

parabola. Si hanno, così, condensatori *a variazione lineare di lunghezza d'onda* oppure *a variazione lineare di frequenza* o *a variazione logaritmica di capacità*.

Nei moderni radioricevitori sono di impiego molto comune i condensatori variabili *multipli*, che constano di più condensatori (in generale due o tre, e, nei vecchi tipi, anche quattro) montati tutti sullo stesso asse e che, quindi, possono ruotare simultaneamente. Lo scopo di questi condensatori è di consentire la regolazione contemporanea di capacità in diversi circuiti, a mezzo di una sola manovra. Vengono impiegati nei radioricevitori, per la ricerca delle diverse stazioni (*sintonizzazione*).

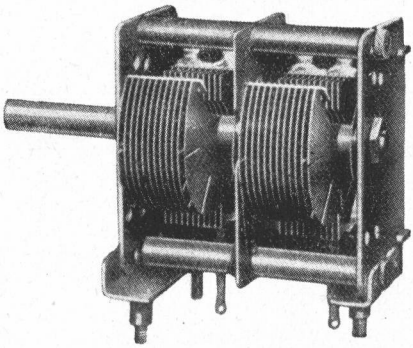


FIG. 23. - Condensatore variabile doppio. È costituito da due condensatori montati sullo stesso asse.

I condensatori *semifissi* sono quelli che possono essere regolati ad un valore prestabilito di capacità che resta poi inalterato. Si tratta, in generale, di piccoli condensatori costituiti da un'armatura metallica fissa e da un'altra armatura elastica. Le due armature sono isolate tra loro da un sottile foglio di mica. A mezzo di una vite è possibile avvicinare l'armatura mobile a quella fissa, sino ad ottenere il desiderato valore di capacità.

In generale, vengono impiegati come *compensatori*, in parallelo ai condensatori multipli precedentemente descritti, allo scopo di compensare quelle piccole differenze di capacità che inevitabilmente esistono tra una sezione e l'altra dei condensatori medesimi. Vengono pure impiegati nei moderni circuiti riceventi, detti a *supereterodina*, nei trasformatori di frequenza intermedia. Nei trasmettitori s'impiegano condensatori semifissi, specialmente per la neutralizzazione della capacità interna delle valvole termoioniche (neutro-condensatori).

11. - Vari tipi di bobine d'induttanza. — Le bobine d'induttanza sono essenzialmente costituite da avvolgimenti di filo di rame eseguiti su appositi supporti di materiale isolante.

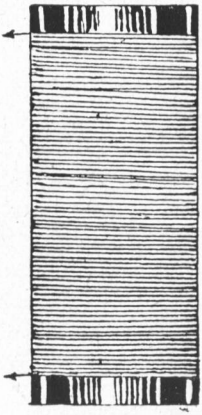


FIG. 24. - Una bobina cilindrica avvolta su tubo di materiale isolante.

Si ricordi dallo studio dell'elettrotecnica il significato di *induttanza* o *coefficiente di autoinduzione*, che generalmente viene indicato col simbolo L e viene espresso in una particolare unità di misura denominata *henry*.

Le bobine sono realizzate in modi diversi. Per ottenere induttanze elevate (da qualche decimo di henry in su) è necessario che contengano un nucleo di materiale magnetico. Se la bobina è destinata ad essere percorsa da corrente alternata, il nucleo deve essere costituito da un pacco lamellare, formato da sottili lamierini di materiale magnetico, isolati l'uno dall'altro, onde ridurre la formazione di correnti parassite per effetto del flusso magnetico variabile che, in tal caso, prende origine nel nucleo stesso. Anche la scelta del materiale impiegato per la formazione dei nuclei, acquista grande importanza, onde limitare le perdite per isteresi magnetica. Si usa generalmente ferro in lega col $4 \div 5\%$ di silicio, oppure qualche lega magnetica speciale come il *permalloy*, il *mumetal*, il *megaperm*, ecc. cioè leghe ad elevata permeabilità ed a basso fattore di perdita.

Le bobine così costruite, risultano di elevata induttanza e sono generalmente impiegate nei circuiti percorsi da correnti di bassa frequenza.

Le bobine per correnti di alta frequenza, invece presentano una limitata induttanza, da pochi milionesimi di henry ad alcune migliaia di microhenry. In generale sono prive di nucleo di ferro.

Il tipo più semplice di bobina per alta frequenza è quella *cilindrica* (fig. 24). Il supporto isolante è costituito da un tubo di ebanite o di cartone imbevuto di vernice bachelite. Talvolta

s'impiegano supporti isolanti costituiti di cellulosa pura o di materiali specialmente studiati in questi ultimi anni per la tecnica delle correnti di alta frequenza. Il conduttore è di rame isolato con smalto, con seta o con cotone.

Per eliminare le perdite provocate dal supporto isolante, spesso le bobine per le altissime frequenze (onde corte) sono avvolte in aria e il materiale isolante si riduce a poche listerelle, necessarie per irrigidire le spire (fig. 26).

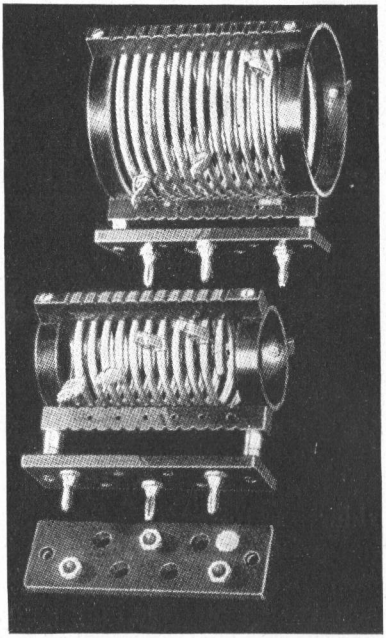


FIG. 26. - Bobine cilindriche per onde corte con minimo materiale isolante.

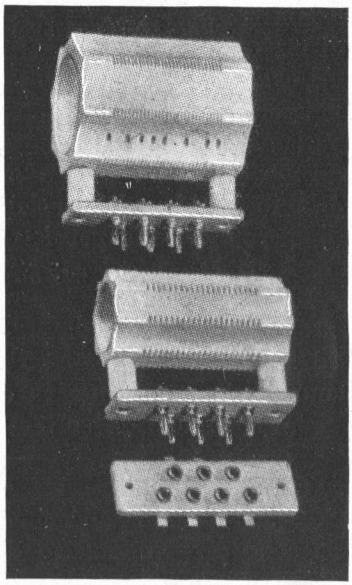


FIG. 25. - Supporti di speciale materiale per bobine di alta frequenza.

Spesso le bobine sono munite di un innesto a spina che le rende intercambiabili.

Vedremo in seguito (n° 17) quale danno arrechi nei circuiti percorsi dalle correnti di alta frequenza, la così detta *capacità ripartita*, tra le spire di una bobina. Si tratta di questo: due spire successive dell'avvolgimento si possono considerare

come le due armature di un condensatore tra le quali è interposto, come dielettrico, l'isolante del conduttore. Per ridurre questo effetto capacitativo, si realizzano bobine speciali nelle quali il filo viene avvolto a zig-zag, in modo che le spire adiacenti siano opportunamente tenute lontane e gl'incroci siano eseguiti ad angolo retto o quasi, tal che le parti affacciate, tra spira e spira, si riducano praticamente ad un punto.

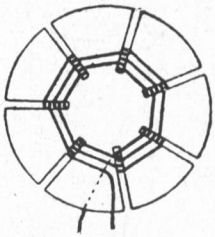


Fig. 27. - Come viene avvolta una bobina a fondo di paniere.

Questi tipi speciali vengono denominati *anticapacitativi*. Appartengono a questa categoria le *bobine a fondo di paniere* che vengono avvolte su di un supporto di cartoncino pressato, essiccato e verniciato, a forma di disco con 9 o 11 tagli radiali (fig. 27). L'avvolgimento si esegue introducendo l'estremo del conduttore attraverso un forellino e poi facendo passare il conduttore stesso da una parte e dall'altra di ciascun settore.

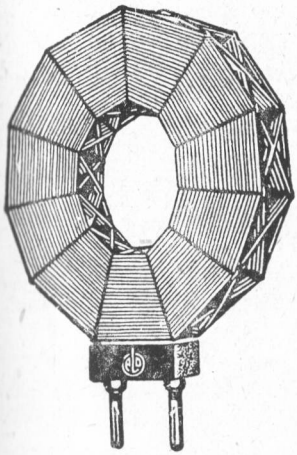


Fig. 28. - Bobina a gabbione.

Altri avvolgimenti di questo tipo sono quelli *a gabbione* (figura 28), quello *a nido d'api* e la bobina *Lorenz*. Tutti questi avvolgimenti vengono eseguiti sopra forme speciali, poi irrigiditi o con bagno di vernice o meglio con legature, e infine muniti di un innesto a spina che permette di fissarli sopra appositi supporti.

La capacità della bobina può essere notevolmente ridotta anche ricorrendo ad un altro sistema di avvolgimento: il conduttore viene avvolto sopra un rocchetto a molte gole (fig. 29), in modo che le singole sezioni risultino in serie fra loro e la capacità risultante sia minima. Questo tipo è particolarmente impiegato come *bobina di blocco* e viene

inserita in alcuni punti dei circuiti radioelettrici, per impedire il passaggio di correnti che abbiano una frequenza più elevata di un certo valore.

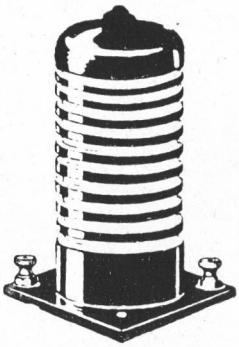


FIG. 29. - Riduzione dell'effetto capacitativo di un avvolgimento servendosi di un supporto a più scanalature.

Talvolta si usano, anche per le correnti di alta frequenza, bobine con nucleo di ferro. S'impiegano però, a tale scopo, speciali materiali magnetici ottenuti mescolando della polvere di ferro molto sottile con opportuna sostanza isolante e pressando il tutto in forme speciali. Si ottengono così delle bobine che hanno dimensioni assai ridotte, perchè la presenza del nucleo di ferro consente di ottenere il desiderato valore di induttanza con un minimo numero di spire. Queste bobine consentono di ridurre le dimensioni dei radioricevitori e tra l'altro, se opportunamente costruite, presentano perdite minime in confronto degli altri tipi.

Talvolta, occorrono bobine a *induttanza variabile*, e ciò si può conseguire in modi diversi.

Poichè l'induttanza di un avvolgimento dipende dal numero delle spire, si può munire la bobina di prese intermedie collegate ad un commutatore che permette d'includere nel circuito tutto o soltanto una parte dell'avvolgimento. La variazione di induttanza, in questo caso, avviene a salti. Una variazione graduale si può ottenere con i così detti *variometri* (fig. 30). Questi sono costituiti da due bobine cilindriche contenute l'una nell'altra e collegate in serie tra loro. La bobina interna può ruotare intorno ad un asse, in modo che la sua azione si sommi o si sottragga a quella della bobina ester-

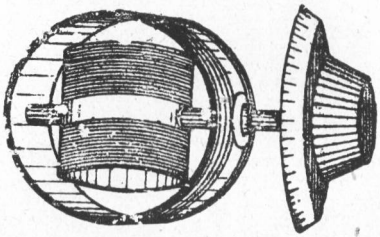


FIG. 30. - Bobina a induttanza gradualmente variabile (*variometro*).

na. Corrispondentemente, l'induttanza varia tra un massimo e un minimo.

L'induttanza di una bobina può anche essere variata gradualmente, introducendo in essa un nucleo di ferro. Questo sistema, già impiegato per le bobine destinate ad essere percorse da correnti di bassa frequenza, è stato esteso alle bobine di alta frequenza, con l'uso degli speciali nuclei ferromagnetici precedentemente descritti.

CAPITOLO III

IL CIRCUITO OSCILLANTE

12. - Notizie generali. — Per realizzare le radiocomunicazioni, come abbiamo detto al cap. I, è necessario generare correnti alternate di frequenza molto grande, superiore a 30 mila oscillazioni al secondo. Queste si ottengono a mezzo di speciali

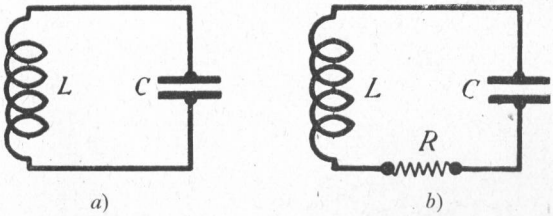


FIG. 31. - Una bobina L e un condensatore C, collegati come in figura, costituiscono un circuito oscillante. In effetti il circuito è sempre sede di perdite di energia. Ed è per questo che suole disegnarsi come in *b*). La resistenza R è simbolo di tutte le perdite del circuito.

apparati il cui elemento fondamentale è il così detto *circuito oscillante* costituito da una bobina e da un condensatore collegati insieme secondo lo schema di fig. 31.

13. - Funzionamento del circuito oscillante. — Per mettere in funzione un circuito oscillante è necessario fornire inizialmente ad esso una certa energia. A tale scopo potrebbe ser-

vire lo schema di fig. 32. L'invertitore *K* permette di collegare il condensatore *C* una volta alla batteria *B* e un'altra volta alla bobina *L*.

Portiamo l'invertitore nella posizione 1: il condensatore si carica e, quindi, tra le sue armature si forma un campo elettrico. Portiamo, poi, l'invertitore nella posizione 2: il circuito oscillante si chiude e il condensatore si scarica attraverso la bobina che viene attraversata da un impulso di corrente.

Ma la corrente elettrica è dotata d'*inerzia*, come un qualsiasi corpo materiale. E questo significa che non si lascia bruscamente mettere in moto o arrestare nei circuiti che percorre. Pertanto la corrente di scarica del condensatore cresce con relativa lentezza da zero al valore massimo e, tanto più lentamente, quanto maggiore è l'induttanza del circuito oscillante, perchè è precisamente l'induttanza quella che tiene luogo d'inerzia. Intorno alla bobina si forma un campo magnetico che aumenta d'intensità al crescere della corrente.

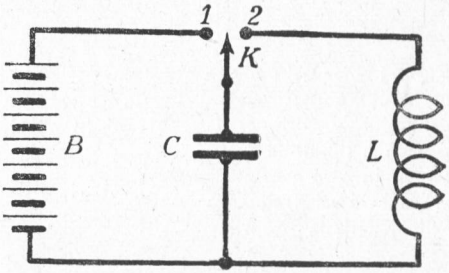


FIG. 32. - Un semplice schema per eccitare un circuito oscillante.

Quando il condensatore si è completamente scaricato il campo elettrico tra le sue armature è scomparso; in compenso si è formato il campo magnetico intorno alla bobina e il circuito contiene ancora energia sebbene sotto forma diversa. Grazie a tale energia e all'accennata inerzia della corrente, questa continua a scorrere ancora attraverso il circuito, poichè è mantenuta dall'induttanza della bobina.

Il condensatore si ricarica quindi in senso contrario, e tra le sue armature aumenta sempre più la d. d. p., contrastando la corrente, che perciò tende a diminuire sino ad annullarsi del tutto. Il campo magnetico intorno alla bobina scompare e di nuovo si forma il campo elettrico tra le armature del condensatore. L'energia elettromagnetica prima accumulata nel cir-

cuito si è trasformata, allora, in altrettanta energia elettrostatica, e il condensatore è carico, ma in senso contrario a quello iniziale.

A questo punto si ripetono nuovamente i fenomeni descritti: il condensatore si scarica attraverso la bobina, ma la corrente che attraversa il circuito viene contrastata dall'induttanza della bobina; poi la corrente continua ancora a circolare per effetto di questa induttanza e ripristina la carica del condensatore.

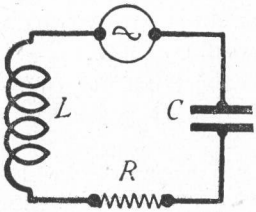


FIG. 33. - Se nel circuito oscillante s'inserisce un generatore di corrente alternata è possibile mantenere in esso *oscillazioni forzate* di frequenza diversa dalla propria.

Il circuito è attraversato, dunque, periodicamente in un senso e nell'altro da una corrente che si dimostra essere alternata sinusoidale. Comunemente si dice che il circuito *oscilla*. Il ciclo si ripeterebbe infinite volte se non intervenissero, in pratica, sottrazioni di energia che in breve tempo spengono le oscillazioni.

14. - Oscillazioni libere e oscillazioni forzate. — Le oscillazioni generate nel circuito nel modo anzidetto si dicono *libere*. In tal caso le correnti oscillanti si producono spontaneamente, con una frequenza che dipende dal valore di L e di C.

Se invece nel circuito viene inserito un generatore di f. e. m. alternata, come indica la fig. 33, la corrente che circola ha la stessa frequenza della f. e. m. impressa e le oscillazioni che si producono sono *forzate*.

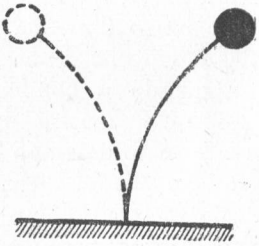


FIG. 34. - Un pendolo meccanico.

15. - Un paragone meccanico. — I fenomeni che si manifestano in un circuito oscillante si possono paragonare a quelli che si osservano in un oscillatore meccanico costituito da una massa pesante fissata all'estremità di una molla incastrata al piede.

Se questo oscillatore viene rimosso dalla sua posizione di riposo

e poi abbandonato, diventa sede di oscillazioni pendolari *libere* la cui durata dipende dalle dimensioni e dalla massa del sistema. Queste oscillazioni corrispondono a periodiche trasformazioni di energia potenziale in energia cinetica.

Se, invece, il piede della molla è fissato ad un sistema meccanico atto ad imprimergli impulsi di una frequenza qualsiasi, il pendolo viene trascinato ed è costretto ad oscillare con questa frequenza: le oscillazioni che si producono sono *forzate*.

La fig. 35 illustra un interessante paragone tra le fasi di oscillazioni libere di un sistema meccanico e quelle di un circuito elettrico.

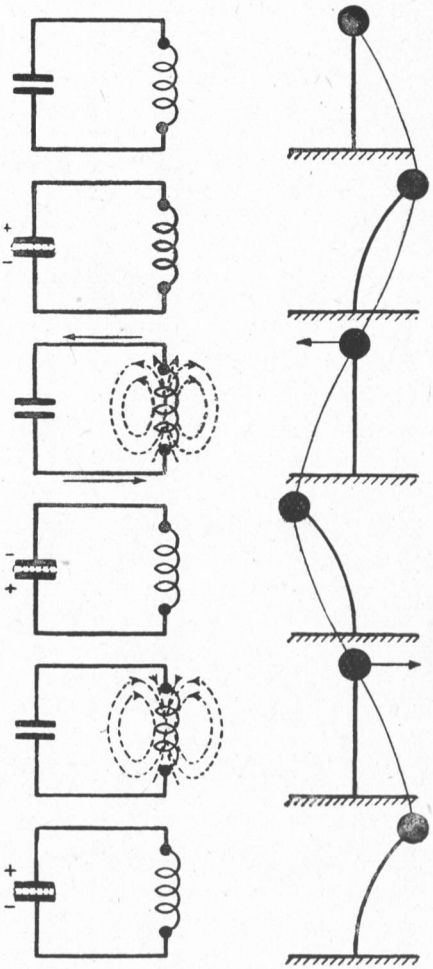


FIG. 35. - I fenomeni oscillatori che prendono origine in un circuito con L e C si possono paragonare alle oscillazioni di un pendolo meccanico.

16. - Periodo e frequenza delle oscillazioni libere. — La teoria matematica che permette di studiare il fenomeno oscillatorio in un circuito oscillante è alquanto complessa. Ne riporteremo i risultati più importanti.

Il periodo delle oscillazioni, e cioè la durata di ogni oscillazione completa, di un circuito composto d' induttanza L e di capacità C, privo

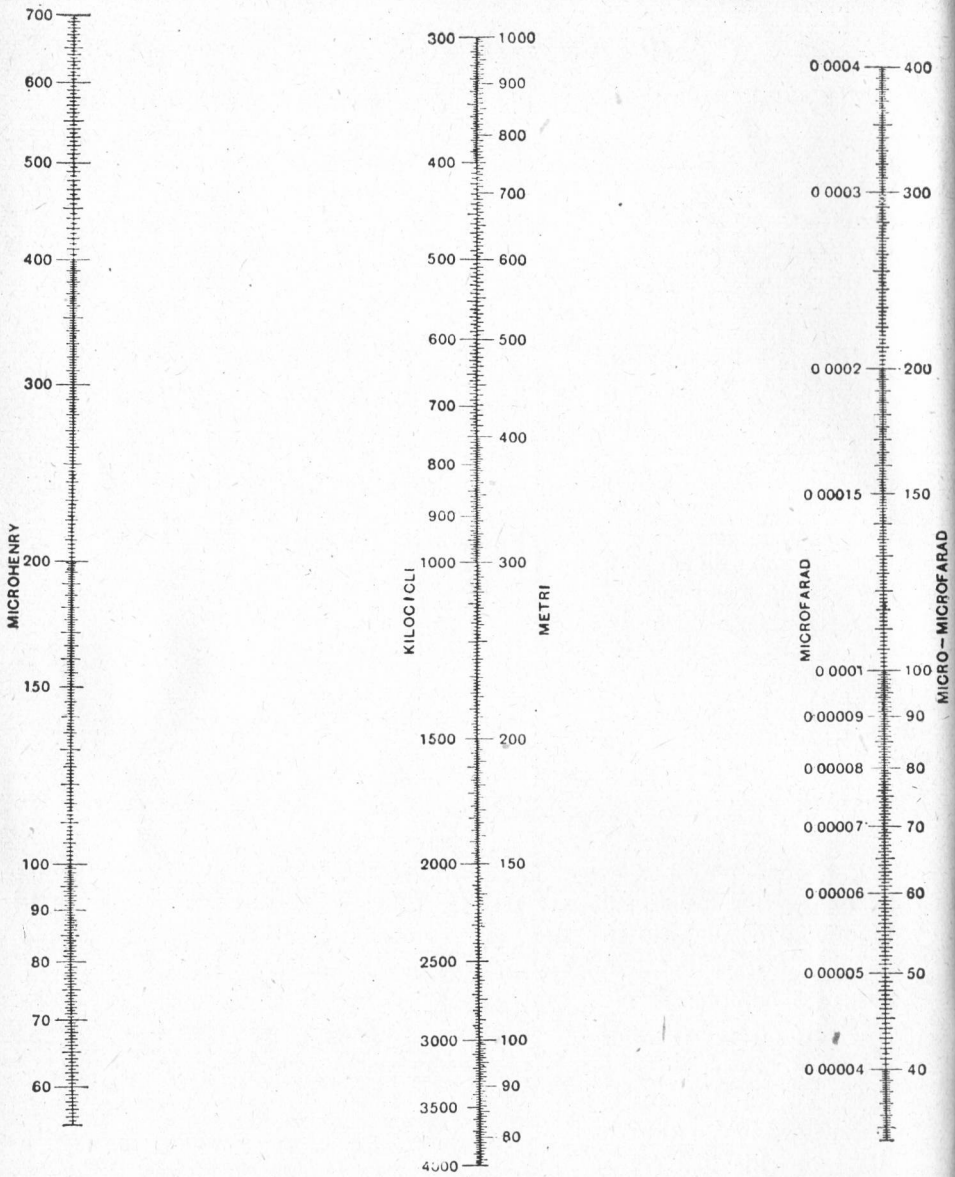
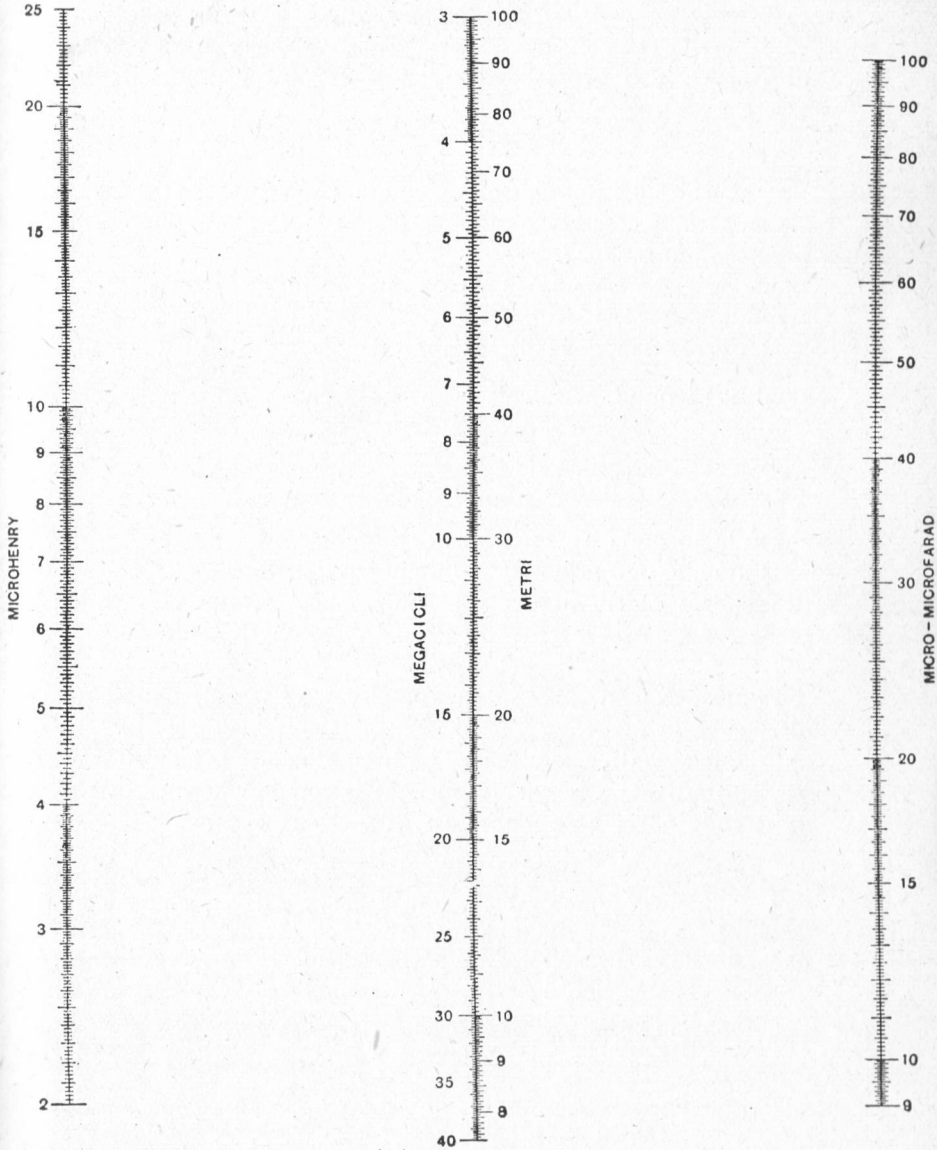


FIG. 36. - Questo abaco serve per il rapido calcolo della lunghezza d'onda
spondente al valore dell'induttanza (microhenry) col punto che corri-
di questa retta con la linea centrale si legge la lunghezza d'onda in



di un circuito oscillante. Si tracci una retta che congiunga il punto corrisponde al valore della capacità (micromicrofarad). Nel punto d'incontro metri, e la frequenza in kilohertz o megahertz.

di resistenza o avente resistenza molto piccola, si dimostra essere eguale a:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} = 6{,}28\sqrt{LC}$$

Se si desidera eseguire i calcoli con maggiore approssimazione, sarà necessario assumere per 2π un valore più esatto, per esempio 6,28318.

Se L viene espresso in henry e C in farad, si ottiene T in secondi.

La *frequenza* delle oscillazioni e cioè il numero di oscillazioni al secondo, si calcola ricordando che $f = \frac{1}{T}$:

$$f = \frac{1}{6{,}28\sqrt{LC}}$$

che è la formula di THOMSON (1).

Infine, si può calcolare la lunghezza dell'onda elettromagnetica che la corrente oscillante può generare, con la formula

$$\lambda = 1885\sqrt{LC}$$

dovendosi esprimere L in microhenry e C in microfarad per ottenere λ in metri.

Come si vede, per ottenere onde molto corte (e cioè correnti oscillanti di elevatissima frequenza) occorrono bobine di minima induttanza e condensatori di piccola capacità.

Applicazione. — Un circuito oscillante è costituito da una bobina della induttanza di 200 milionesimi di henry e da un condensatore della capacità di 500 micromicrofarad. Calcolare il periodo e la frequenza delle oscillazioni libere e la corrispondente lunghezza d'onda.

Secondo una notazione matematica molto usata in pratica (2):

200 microhenry si scrive: 200×10^{-6} henry
500 micromicrofarad si scrive: 500×10^{-12} farad.

(1) Sir WILLIAM THOMSON (Lord Kelvin), insigne fisico e matematico inglese, nacque in Irlanda nel 1824 e morì nella Scozia nel 1907.

(2) Si tratta di una notazione simbolica assai comoda per scrivere i numeri molto grandi o molto piccoli.

Invece di scrivere 100, si scrive 10^2;
» » » 1000, » » 10^3;
e così di seguito. Pertanto 10^6 vale 1 milione, 10^9 vale 1 miliardo, ecc. In-

Il periodo dell'oscillazione è, dunque

$$T = 6{,}28\sqrt{L\,C} = 6{,}28\sqrt{200 \times 10^{-6} \times 500 \times 10^{-12}} =$$
$$= 2 \times 10^{-6} \text{ secondi (2 milionesimi di secondo).}$$

La *frequenza* è:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \times 10^{-6}} = 500 \text{ mila periodi al secondo.}$$

La *lunghezza d'onda:*

$$\lambda = 1885\sqrt{L\,C} = 1885\ \sqrt{200 \times 0{,}0005} = 1885\ \sqrt{0{,}1} = 600 \text{ metri.}$$

La lunghezza d'onda si determina speditamente, e senza bisogno di calcolo, a mezzo del diagramma di fig. 36.

ESERCIZIO: PROBLEMA DA RISOLVERE. — Un circuito oscillante è costituito da una bobina e da un condensatore dei valori seguenti:

$L = 2000$ microhenry $\qquad C = 1000$ micromicrofarad.

Controllare col calcolo e col diagramma di fig. 36 i valori del periodo proprio, della frequenza propria e della corrispondente lunghezza d'onda, qui indicati:

$T = 8{,}91 \times 10^{-6}$ secondi
$f = 112.234$ periodi al secondo
$\lambda = 2673$ metri.

vece di 200, 300 ..., si scrive 2×10^2, 3×10^2 ... e così per gli altri numeri.

Per i numeri piccoli, si usa quest'altra notazione:

invece di scrivere 0,1, si scrive 10^{-1}
» » » 0,01, » » 10^{-2}

e così di seguito.

Pertanto, 10^{-6} vale 1 milionesimo, 10^{-9} 1 miliardesimo, ecc.

Invece di 0,2, 0,3, ecc..., si scrive 2×10^{-1}, 3×10^{-1} e così per gli altri numeri.

Per estrarre la radice quadrata dei numeri così scritti, basta dividere per 2 l'esponente.

17. - Oscillazioni persistenti e oscillazioni smorzate. — Un pendolo meccanico che abbia ricevuto inizialmente un impulso non oscilla indefinitamente ma poco per volta l'ampiezza dell'oscillazione decresce e, dopo qualche tempo, il sistema si ferma. Infatti il movimento del pendolo è ostacolato dalla resistenza dell'aria, dalla rigidità della molla, ecc. Si dice che le oscillazioni del pendolo sono *smorzate*.

Analogamente, in un circuito oscillante vi sono diverse cause di perdite d'energia che producono lo smorzamento delle

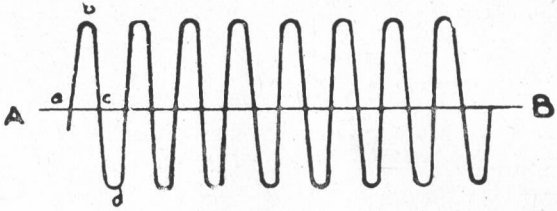


FIG. 37. - Rappresentazione cartesiana di un'oscillazione persistente.

correnti. Innanzi tutto ricorderemo la resistenza dei conduttori di collegamento e del filo di cui è costituita la bobina (1); poi, le perdite che si producono nel supporto isolante della bobina e quelle che si producono nel dielettrico del condensatore e per la capacità ripartita tra le spire della bobina.

Infine il circuito oscillante, benchè chiuso, irradia sempre una certa energia nello spazio circostante sotto forma di onde elettromagnetiche.

Insomma, le oscillazioni che si generano nel circuito diven-

(1) Le perdite dovute alla resistenza dei conduttori risultano particolarmente elevate quando i conduttori stessi siano percorsi da correnti di alta frequenza. Infatti, in questo caso, interviene il così detto *effetto di superficie*, scoperto da lord KELVIN. Si tratta di questo: le correnti continue attraversano i conduttori in tutta la loro sezione; invece le correnti alternate dànno luogo a flussi magnetici variabili, che, concatenandosi col conduttore, producono l'effetto di diradare la corrente al centro, in modo da localizzarla negli strati più periferici del conduttore stesso. Ne risulta una diminuzione della sezione utile, cui consegue un aumento di resistenza. Per questa ragione, si fa differenza tra resistenza a corrente continua e la così detta resistenza in alta frequenza, che spesso è assai maggiore.

tano sempre meno ampie. Ciò significa che l'intensità della corrente oscillante diminuisce poco per volta e tende a ridursi a zero.

Se il circuito fosse privo di perdite, il diagramma della corrente oscillante si presenterebbe come in fig. 37 (oscillazioni

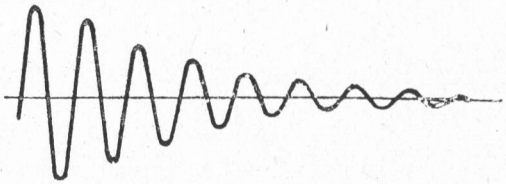


FIG. 38. - Rappresentazione cartesiana di un'oscillazione smorzata.

persistenti). Ma, in pratica, questo diagramma ha l'andamento indicato in fig. 38 (oscillazioni *smorzate*).

18. - Condizione perchè un circuito oscilli. — In certi casi le perdite di energia sono così elevate che il circuito non

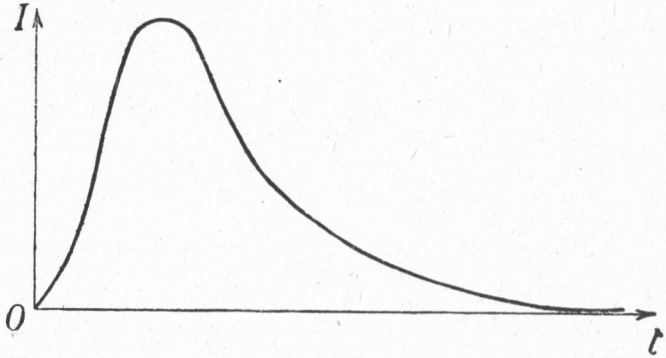


FIG. 39. - Diagramma di una scarica aperiodica.

può divenire sede di oscillazioni. Si verifica, cioè, che il condensatore si scarica una sola volta attraverso il circuito e questo viene percorso da un impulso unico di corrente durante il quale si dissipa tutta l'energia inizialmente accumulata.

In questo caso si dice che si è prodotta una *scarica aperiodica* e la fig. 39 illustra il diagramma della corrente in funzione del tempo.

Interessa, in pratica, conoscere se un circuito può entrare in oscillazione. A tale scopo si definisce la così detta *resistenza critica* del circuito che si calcola con l'espressione:

$$R_c = 2\sqrt{\frac{L}{C}}\,.$$

Se la resistenza del circuito è minore della resistenza critica il circuito può oscillare in regime libero; altrimenti la scarica del condensatore non è oscillante ma aperiodica.

Un fenomeno analogo si verifica nel caso di un pendolo immerso in un mezzo vischioso. Se la vischiosità è abbastanza elevata, il pendolo non arriva a compiere oscillazioni successive, ma rimosso dalla sua posizione di equilibrio, vi ritorna e si ferma senza oltrepassarla.

Applicazione. — Lo stesso circuito indicato nell'esercizio al n° 16 ha una resistenza complessiva di 50 ohm. Verificare se il circuito può diventare sede di oscillazioni.

A tale scopo basta calcolare la *resistenza critica* del circuito:

$$R_c = 2\sqrt{\frac{L}{C}} = 2\sqrt{\frac{200 \times 10^{-6}}{500 \times 10^{-12}}} = 1624 \text{ ohm.}$$

Poichè la resistenza del circuito è notevolmente minore della sua resistenza critica, si conclude che esso è in condizione di oscillare in regime libero.

19. - Caratteristiche delle oscillazioni smorzate. — Il fenomeno oscillatorio in un circuito reale è regolato dalle leggi seguenti:

1) la durata di tutte le successive oscillazioni è sempre la stessa, indipendentemente dalla loro ampiezza; essa è poco maggiore di quella che si avrebbe se il circuito fosse privo di resistenza;

2) il rapporto tra le ampiezze di due oscillazioni successive dello stesso segno è costante.

La prima legge permette di concludere che i tratti *OP*, *PQ*, *QR*... della fig. 40 sono eguali tra loro. La seconda legge stabilisce, invece, che le ampiezze della corrente oscillante decrescono in modo tale, che, dividendo la prima per la seconda si ottiene lo stesso risultato che dividendo la seconda per la terza e così di seguito.

20. - Smorzamento di un circuito oscillante. — Si chiama *smorzamento* di un circuito oscillante il rapporto tra

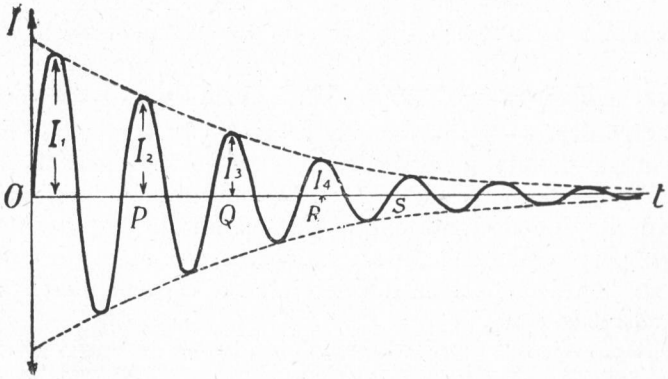


FIG. 40. - In un'oscillazione smorzata il periodo si conserva costante e l'ampiezza decresce secondo il profilo della curva tratteggiata (curva logaritmica).

l'ampiezza di una singola oscillazione e quella della successiva oscillazione dello stesso segno; questo rapporto, come abbiamo detto precedentemente, si mantiene costante nel tempo ed ha un valore caratteristico per ogni circuito oscillante. Lo smorzamento aumenta quando nel circuito si aumenta la resistenza.

Indicando con s tale smorzamento, potremo scrivere:

$$s = \frac{I_1}{I_2} = \frac{I_2}{I_3} = \frac{I_3}{I_4} = \cdots = \textit{costante}.$$

Così, se in un circuito l'ampiezza della prima oscillazione di corrente è di 10 ampere e la seconda di 8 ampere, lo smorzamento ri-

sulta 10 : 8 = 1,25. La terza oscillazione sarà di 6,4 ampere, la quarta di 5,12 e la quinta di 4 ampere. Così di seguito, fino a zero.

Lo smorzamento di un circuito è indice delle sue perdite. Un buon circuito presenta piccolo smorzamento, per es.: 1,1 o 1,2. Questo significa che l'ampiezza di ciascuna oscillazione differisce di poco da quella dell'oscillazione che la precede.

Significato analogo ha il *decremento* di un circuito oscillante che si calcola con l'espressione:

$$d = \frac{R}{2L} T.$$

Un buon circuito non deve avere un decremento maggiore di 0,1.

21. - Influenza di L e di C sulla lunghezza d'onda del circuito. — Dalla formula $\lambda = 1885 \sqrt{LC}$ risulta che la lunghezza d'onda propria di un circuito oscillante dipende esclusivamente dal prodotto $L\,C$. Quindi un circuito che abbia la capacità di 6 decimillesimi di microfarad e induttanza di 200 microhenry oscilla sulla stessa lunghezza d'onda di un circuito che abbia 3 decimillesimi di microfarad di capacità e induttanza di 400 microhenry.

Spesso occorre che uno stesso circuito sia in grado di oscillare su frequenze diverse, comprese entro limiti determinati. Nel linguaggio tecnico si dice che quel circuito può coprire una certa *gamma* di frequenze o di lunghezze d'onda. In questo caso il circuito comprende un condensatore a capacità variabile o una bobina a induttanza variabile. Generalmente, almeno per i ricevitori, si usa la bobina fissa e il condensatore variabile. Conoscendo il valore massimo (condensatore chiuso) e minimo (condensatore aperto) della capacità, si può facilmente calcolare la massima e la minima lunghezza d'onda sulla quale può oscillare il circuito.

Ad es.: con una bobina dell'induttanza di 200 microhenry e un condensatore variabile della capacità massima di 500 micromicrofarad si può coprire la gamma delle onde medie (200 a 600 metri).

22. - Energia e potenza nei circuiti oscillanti. — Abbiamo già detto che il fenomeno oscillatorio in un circuito

oscillante consiste in un periodico scambio di energia tra campo elettrico e campo magnetico.

L'energia che si spende per portare un condensatore di capacità C dal potenziale zero a quello V, si calcola in joule con la relazione

$$W_e = \frac{1}{2} C V^2.$$

Come si vede, vi è convenienza ad usare potenziali molto elevati, perchè l'energia che si accumula nel circuito sotto forma di campo elettrico aumenta secondo il quadrato del potenziale impresso.

Nella fase successiva dell'oscillazione, il condensatore si scarica completamente e l'energia in esso contenuta si trasforma in energia elettromagnetica che si va ad accumulare nello spazio circostante alla bobina. Tale energia si calcola con la relazione

$$W_m = \frac{1}{2} L I^2$$

ed è misurata in joule, quando L sia espresso in henry e C in farad.

Se fossero nulle tutte le perdite, dovrebbe essere, dopo ogni semioscillazione:

$$\frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} L I^2.$$

Invece, a causa delle perdite, ad ogni semioscillazione l'energia immagazzinata nel circuito è sempre minore e si riduce, dopo un certo tempo, a zero.

23. - Circuiti oscillanti chiusi ed aperti. — Il circuito oscillante, così come lo abbiamo considerato sino ad ora, formato cioè da un condensatore e da una bobina collegati insieme, prende il nome di *circuito oscillante chiuso*. Però qualsiasi altro circuito che, comunque costituito, presenti induttanza e capacità, è sempre un circuito oscillante, anche se non comprende un vero e proprio condensatore e una vera e propria bobina.

Così vi sono circuiti oscillanti che, a prima vista, non sembrerebbero tali. Un caso caratteristico è quello dell'*antenna marconiana* (fig. 41) costituita da un lungo conduttore teso orizzontalmente nello spazio ad una certa altezza dal suolo (aereo) collegato mediante un conduttore verticale alla terra. In questo caso il filo isolato si comporta come l'armatura di un conden-

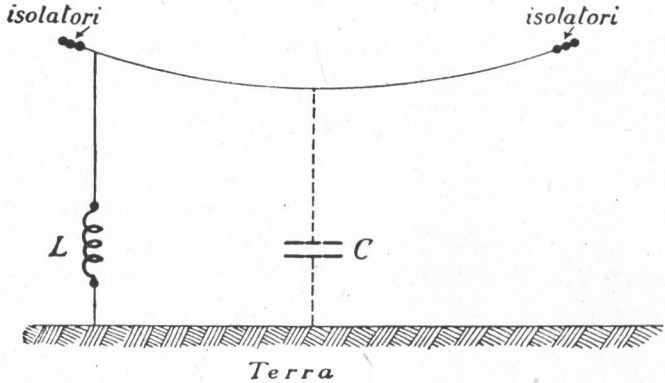


FIG. 41. - Il sistema antenna-terra impiegato per la trasmissione e per la ricezione delle onde elettromagnetiche è un vero e proprio circuito oscillante (il condensatore *C* sta a rappresentare la capacità del filo orizzontale verso terra).

satore e l'altra armatura è il suolo stesso; l'induttanza poi è quella dei fili, perchè ogni conduttore, anche se diritto, possiede sempre una certa induttanza.

Un'antenna, dunque, si può considerare come un circuito oscillante ma a causa delle sue notevoli dimensioni e della distanza che intercede tra gli elementi che costituiscono le armature del condensatore esso prende il nome di *circuito oscillante aperto*.

Nelle stesse condizioni si trovano altri circuiti che avremo occasione di esaminare in seguito.

In pratica questi due tipi di circuiti oscillanti hanno caratteristiche e proprietà diverse. Il circuito oscillante chiuso presenta piccola resistenza e, in generale, perdite molto ridotte. Pertanto il suo smorzamento è piccolo. Per questa ragione esso

è particolarmente adatto come generatore di oscillazioni elettriche.

Invece il circuito oscillante aperto, in quanto permette facilmente al campo elettrico e a quello magnetico di distaccarsi dal circuito stesso e quindi di propagarsi a distanza, si presta particolarmente per irradiare le onde elettromagnetiche; ma non per generarle da sè solo in modo persistente, sotto forma di oscillazioni libere. Infatti questa irradiazione di onde si traduce in una continua sottrazione di energia, che se non è compensata, dà luogo a un rapido smorzamento.

CAPITOLO IV

ACCOPPIAMENTO DEI CIRCUITI OSCILLANTI

24. - Notizie generali. — Due circuiti oscillanti si dicono *accoppiati*, quando è possibile trasferire energia dall'uno all'altro. Questo accoppiamento può essere realizzato in diversi modi; ma il più importante in pratica è quello *elettromagnetico*. In questo caso il trasferimento di energia tra i due circuiti ha luogo per mutua induzione.

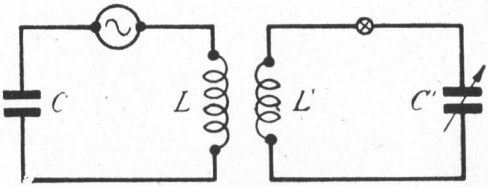


FIG. 42. - Accoppiamento elettromagnetico tra due circuiti oscillanti.

25. - Fenomeno di risonanza nei circuiti accoppiati. — Supponiamo che il primo circuito sia sede di una corrente oscillante persistente o smorzata, di frequenza propria. Per mutua induzione si desta nell'altro circuito una forza elettromotrice indotta la cui frequenza è eguale a quella della corrente inducente. L'intensità efficace della corrente alternata che attraversa il circuito secondario si calcola dividendo il valore efficace di questa f. e. m. per l'impedenza del circuito secondario, impedenza che è molto elevata se il circuito è fuori risonanza, mentre diventa minima e precisamente eguale alla sola resistenza se il circuito è in risonanza con la frequenza della f. e. m. indotta. Conseguentemente, l'intensità di corrente che

attraversa il circuito secondario è trascurabile, praticamente è nulla, quando il circuito è assai fuori di risonanza, mentre diventa massima appena raggiunta la condizione di risonanza.

Il fenomeno si osserva facilmente inserendo una piccola lampada ad incandescenza o un milliamperometro termico nel secondo circuito e regolando lentamente il condensatore C': vi è una posizione unica di questo condensatore per cui la lampada brilla o il milliamperometro segna la massima intensità di corrente. Quando si verifica questa condizione, si dice che *i due circuiti sono in risonanza tra loro.*

In questo caso i due circuiti oscillano con lo stesso periodo. Dunque, è

$$6{,}28\sqrt{LC} = 6{,}28\sqrt{L'C'}$$

e questo si ottiene quando $LC = L'C'$.

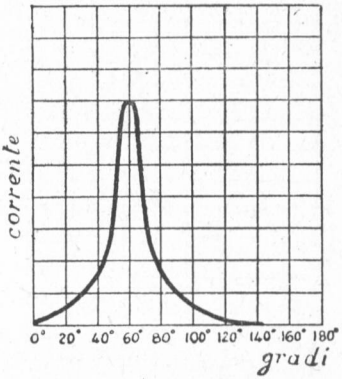


FIG. 43. - Curva di risonanza di un circuito oscillante.

Quindi, per ottenere la risonanza non è necessario che i due circuiti siano identici, cioè siano formati con bobine e condensatori dello stesso valore. Basta che i prodotti $L\,C$ siano eguali nei due circuiti.

26. - Curva di risonanza. — È molto importante la curva che mostra come varia l'intensità di corrente nel secondo circuito col variare della capacità del condensatore C'. Essa si ricava in questo modo: mentre il primo circuito viene mantenuto in oscillazione, si fa girare lentamente la manopola del condensatore C' e per ciascuna posizione di questa si legge al milliamperometro l'intensità di corrente che passa attraverso il secondo circuito. Si disegna la curva, riportando in ascisse le graduazioni lette sulla manopola del condensatore C' e in ordinate le intensità di corrente I'. Questa curva si presenta come in fig. 43 e prende il nome di *curva di risonanza.*

La forma della curva è influenzata da diverse cause. Ricorderemo, tra queste, la resistenza del circuito secondario e il grado di accoppiamento tra i due circuiti.

Quanto più grande è la resistenza del circuito secondario,

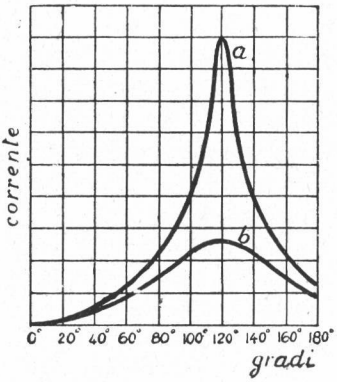


FIG. 44. - La curva di risonanza è tanto più acuta, quanto minori sono le perdite del circuito. In *a*): curva di risonanza di un circuito con poche perdite. In *b*): la stessa curva per un circuito con molte perdite.

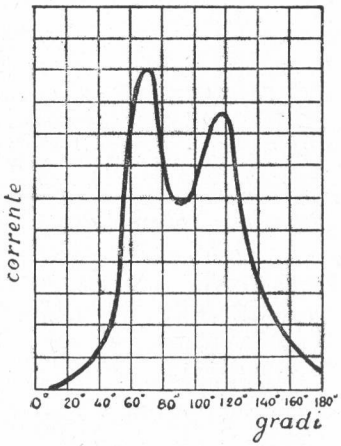


FIG. 45. - Curva di risonanza nel caso di due circuiti ad accoppiamento molto stretto.

tanto maggiormente la curva di risonanza risulta *bassa* e *piatta*, come è indicato in fig. 44.

Così pure, quando l'accoppiamento tra i due circuiti è piuttosto lasco (le due bobine sono lontane) la curva di risonanza risulta molto acuta; se, invece, l'accoppiamento si fa piuttosto stretto, la curva si appiattisce non solo, ma si presenta con due massimi, in corrispondenza di due diverse posizioni del condensatore di sintonia (fig. 45).

In pratica interessa ottenere curve di risonanza molto acute: quindi, è necessario che il circuito secondario abbia poche perdite e che l'accoppiamento tra i due circuiti sia piuttosto lasco.

27. - Interreazioni tra circuiti accoppiati. — Quando l'accoppiamento tra due circuiti oscillanti accordati sulla stessa frequenza è molto stretto, si verifica il fenomeno della *doppia onda*. Infatti il primo circuito induce una corrente nel secondo e questo reagisce sul primo, generando in esso un'altra corrente che a sua volta andrà ad agire sul secondo circuito. Insomma,

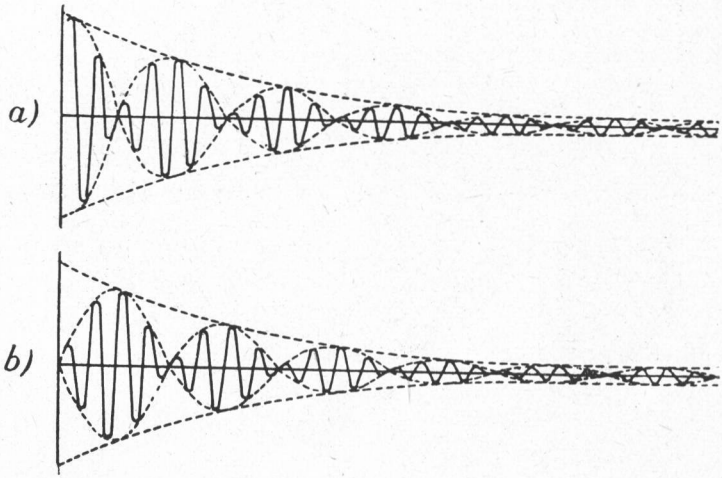


FIG. 46. - I due diagrammi illustrano l'andamento delle correnti in due circuiti strettamente accoppiati. Al massimo d'intensità nel primo circuito corrisponde un minimo nel secondo. Il fenomeno è dovuto ad uno scambio periodico d'energia tra i due circuiti.

si verificano tra il primario e il secondario scambi periodici di energia, per cui resta notevolmente alterata la forma delle correnti che si producono nei due circuiti. Se il primario è sede di un'oscillazione smorzata, allora la forma di queste correnti si presenta come è indicato nel diagramma di fig. 46. Come si vede, le correnti subiscono periodiche variazioni di ampiezza e, quando è massima la prima, la seconda è nulla e viceversa.

Una forma così complicata di correnti viene giustificata dal fatto che in ciascuno dei due circuiti l'oscillazione generata è dovuta alla sovrapposizione di due correnti di frequenze

diverse. Questo fenomeno si chiama *battimento* e sarà studiato particolarmente in seguito. Per ora possiamo dire che la presenza di due oscillazioni di diversa frequenza è molto grave negli apparati di trasmissione, perchè in tal caso l'aereo irradia due onde di lunghezza diversa. Poichè, quando si ascolta la stazione,

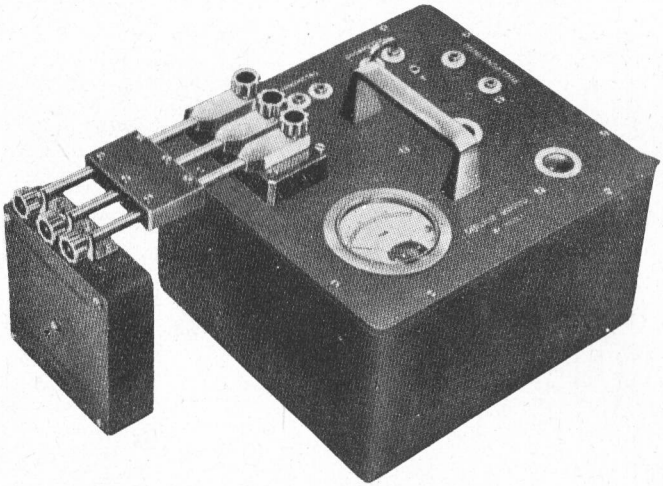


FIG. 47. - Un ondametro.

si riceve una sola di queste onde, è evidente che la potenza praticamente utilizzata è solo la metà di quella complessiva.

Per evitare il fenomeno della doppia onda, è necessario mantenere lasco l'accoppiamento tra i due circuiti.

28. - Misura di frequenze e di lunghezze d'onda. — Il fenomeno di risonanza viene utilizzato, tra l'altro, per misurare la frequenza della corrente oscillante che percorre un circuito. A tale scopo s'impiega un apparecchio chiamato *ondametro*.

Nel caso più semplice, l'ondametro si riduce ad un circuito oscillante tarato, vale a dire corredato di una tabellina o curva dalla quale possa dedursi la frequenza o lunghezza d'onda propria del circuito, per ogni posizione del condensatore di

accordo. Nel circuito oscillante è inserita una piccola lampada ad incandescenza o un milliamperometro termico.

L'ondametro si usa nel modo seguente: si accoppia la bobina dell'apparecchio a quella del circuito oscillante. Poi si fa girare lentamente il condensatore dell'ondametro sino a che la lampadina brilli al massimo; si legge la posizione dell'indice sulla manopola graduata del condensatore e dalla tabellina o curva annessa allo strumento si deduce la frequenza della corrente che attraversa il circuito oscillante.

È necessario che l'accoppiamento tra ondametro e circuito sia piuttosto lasco per evitare il fenomeno della doppia onda (curva di risonanza di fig. 45) che darebbe imprecisione alla misura facendo accendere la lampada due volte, per due diverse posizioni del condensatore di accordo.

CAPITOLO V

GLI AEREI DI TRASMISSIONE E LA PROPAGAZIONE DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

29. - Notizie generali. — Al n° 23 abbiamo fatto distinzione tra circuiti oscillanti chiusi e aperti. Questi ultimi sono particolarmente utili per irradiare le onde elettromagnetiche e prendono anche il nome di *antenne*. Si distinguono, in pratica, due tipi:

— il sistema *antenna-terra* marconiano;
— il *dipolo* hertziano.

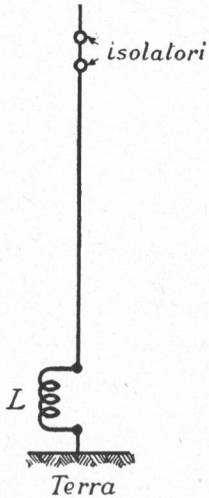


FIG. 48. - Antenna marconiana verticale.

30. - Antenne marconiane. — Il tipo più semplice di antenna marconiana consta di un filo verticale isolato in alto e connesso in basso alla presa di terra attraverso una bobina che serve ad accoppiare l'antenna ad un circuito oscillante chiuso, generatore di correnti di alta frequenza (fig. 48).

Molto impiegate sono pure le antenne costituite da uno o più fili orizzontali, connessi alla terra a mezzo di un filo verticale, detto *coda* o *discesa* di antenna. La discesa può essere collegata al punto di mezzo del tratto orizzontale e si ha, allora, un'antenna a *T*; oppure può essere collegata ad un estremo e si ottiene un'antenna a *L* rovesciata.

Quando non sia possibile realizzare una buona presa di terra, si può trasmettere col sistema *antenna-contrappeso*. Il contrappeso è costituito da un filo teso parallelamente al conduttore di antenna. In altri casi può essere sostituito da una

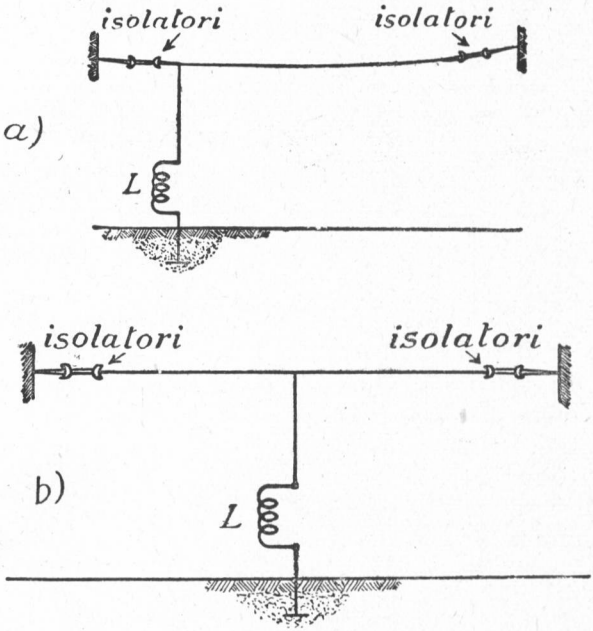


FIG. 49. - Antenna a *L* rovesciata e antenna a *T*.

qualsiasi massa metallica, come si verifica a bordo delle automobili o dei velivoli ove si utilizza come contrappeso tutt'insieme il telaio, la carrozzeria e il motore.

31. - Distribuzione della corrente e della tensione lungo un aereo. — È detto al n° 23 che un aereo può considerarsi come un circuito oscillante con costanti distribuite. Nel complesso, gli aerei si comportano come conduttori che, mentre si caricano e si scaricano, in quanto si possono considerare come

capacità, nello stesso tempo sono attraversati da corrente per tutta la loro lunghezza e si comportano come induttanze.

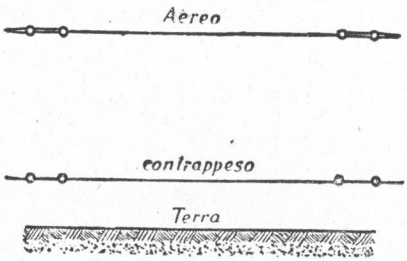


FIG. 50. - Antenna orizzontale e contrappeso.

In tali circuiti si verifica un fatto assai singolare che non si riscontra nello studio di altri circuiti elettrici: la corrente e la tensione non assumono lo stesso valore in tutti i punti del conduttore.

Consideriamo un aereo verticale, supponendo che la sua capacità e la sua induttanza siano uniformemente ripartite lungo il conduttore (1): si osserva che l'intensità di corrente è massima alla base e decresce lungo il conduttore sino a ridursi a zero all'estremo superiore. Questo fenomeno può essere spiegato pensando che alla base passa la corrente che deve alimentare tutto l'aereo, mentre, via via, una parte di corrente viene ceduta per caricare la capacità del conduttore, finchè in cima la corrente è nulla poichè non vi è altro tratto di conduttore da alimentare. Si dice che alla base dell'antenna si è formato un *ventre* di corrente e all'estremo superiore un *nodo*.

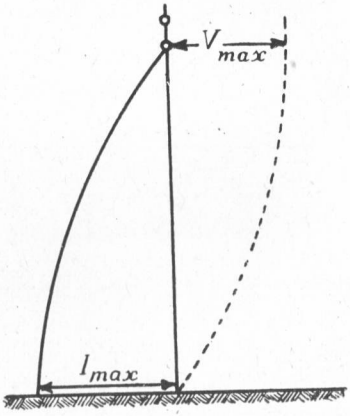


FIG. 51. - Distribuzione della corrente e della tensione lungo un aereo verticale.

Invece la tensione è nulla alla base perchè l'aereo è a contatto col suolo, mentre si va elevando lungo il conduttore e raggiunge in cima il valore massimo. Nella

(1) Questa ipotesi non è verificabile in pratica. Basti pensare che i punti dell'antenna più vicini agli oggetti collegati al suolo presentano una capacità maggiore dei punti che sono più distanti.

fig. 51 è indicata la distribuzione della corrente e della tensione lungo l'aereo. Come si vede, le curve che rappresentano queste grandezze sono archi di sinusoide.

32. - Lunghezza d'onda fondamentale di un aereo. — Poichè un aereo è un circuito oscillante, esso potrà essere sede di corrente di una determinata frequenza. La lunghezza d'onda sulla quale spontaneamente può oscillare l'aereo, senza che ad esso siano aggiunte induttanze o capacità, si chiama *lunghezza d'onda fondamentale* dell'aereo.

Nel caso di un aereo verticale, lungo il quale la distribuzione di corrente assuma la forma indicata in fig. 51, l'onda fondamentale ha lunghezza eguale a quella dell'intera sinusoide e cioè quattro volte maggiore dell'altezza dell'aereo. In tali condizioni l'aereo *oscilla in quarto d'onda*. Ad es.: un aereo alto 25 m può irradiare un'onda di 100 m.

È possibile far oscillare l'aereo su di una lunghezza d'onda diversa dalla fondamentale, purchè sia verificata la condizione che alla base si stabilisca un ventre di corrente e alla cima un nodo. In questo caso l'aereo oscilla in 3/4, 5/4, 7/4, ecc. d'onda.

Infine, mediante l'aggiunta di una capacità o di un'induttanza si può modificare come si vuole la lunghezza d'onda su cui oscilla l'aereo.

Però è necessario tener presente questo: la massima potenza irradiata si ha quando l'aereo oscilla sull'onda fondamentale; un rendimento discreto si ottiene facendo oscillare l'aereo su lunghezze d'onda multiple della fondamentale; mentre la potenza irradiata dall'aereo diminuisce molto quando si modifica la lunghezza d'onda a mezzo di bobine o condensatori aggiunti.

Conviene dunque limitare al minimo possibile l'aggiunta di capacità o induttanze di accordo.

33. - Altezza efficace di un aereo. — Sempre riferendoci al diagramma di fig. 51, che rappresenta la distribuzione della corrente lungo un aereo verticale, disegniamo un rettangolo che abbia la stessa area del diagramma e la cui base sia eguale al valore massimo *AB* della corrente che si stabilisce alla base dell'aereo. L'altezza di questo rettangolo equivalente misura la così detta *altezza efficace*

dell'aereo. Dal punto di vista fisico, essa rappresenta l'altezza di un aereo *fittizio* che, essendo attraversato per tutta la sua lunghezza da una corrente costante ed eguale all'intensità massima che si misura alla base dell'aereo considerato, sia capace d'irradiare la stessa potenza.

L'altezza efficace di un aereo marconiano, è, secondo i tipi, da 2/5 a 4/5 della lunghezza.

La potenza irradiata da un'antenna dipende dal prodotto dell'altezza efficace h per l'intensità di corrente I, misurata alla base dell'aereo. Questo prodotto si chiama *momento elettromagnetico* dell'antenna e si misura in *metriampere* (1).

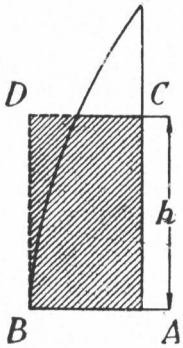


FIG. 52. - Come si perviene al concetto di *altezza efficace* di un aereo.

34. - Resistenza di radiazione. — In elettrotecnica si insegna che la potenza dissipata in un conduttore si ottiene moltiplicando la resistenza del conduttore per il quadrato della corrente che lo attraversa.

Analogamente, la potenza irradiata P_i da un aereo si può ottenere dal prodotto di una certa resistenza R_i per il quadrato della corrente efficace, misurata alla base dell'aereo:

$$P_i = R_i \cdot I^2.$$

Il fattore R_i si chiama *resistenza di radiazione dell'aereo* ed è anch'esso, come l'altezza efficace, un numero fittizio che caratterizza le proprietà radiative dell'antenna. Mentre in tutti i circuiti si ha interesse a che la resistenza sia minima per diminuire le perdite di energia, invece, si ha interesse a rendere grande la resistenza di radiazione di un aereo, perchè con essa, a parità di corrente, cresce la potenza irradiata.

35. - Perdite di energia e rendimento di un aereo. — In un aereo vi sono perdite di energia, come in ogni altro circuito oscillante.

Possiamo, infatti, distinguere:

a) *Perdite per effetto Joule*, dovute alla resistenza del conduttore (2);

(1) Il momento elettromagnetico delle antenne di grandi stazioni trasmittenti raggiunge e supera i 100 mila metriampere.

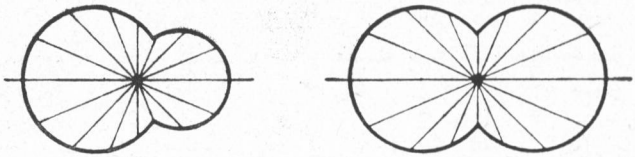
(2) Questa resistenza è da misurare a frequenza della corrente oscillante che percorre l'aereo (vedi nota 1 al n. 17).

b) *Perdite per correnti parassite* indotte in tutte le masse metalliche vicine all'antenna e particolarmente nei sostegni di ferro;

c) *Perdite negli isolatori* che sorreggono il conduttore di antenna, specialmente notevoli sotto pioggia;

d) *Perdite per effluvi*, dovute alla dissipazione di cariche elettriche, soprattutto nei punti ove la tensione è più alta.

La potenza che bisogna fornire all'antenna è eguale alla



a) *b*)

FIG. 53. - Questi diagrammi polari mostrano che ciascun tipo di aereo irradia preferibilmente in certe direzioni anzichè in altre. In *a*): diagramma di emissione di un aereo a *L*. In *b*): lo stesso diagramma per un aereo a *T*.

somma della potenza irradiata e di quella perduta per le cause ora dette.

Si chiama *rendimento* di un'antenna il rapporto tra la potenza irradiata e quella totale fornita all'antenna stessa.

36. - Direttività degli aerei di trasmissione. — L'aereo irradia le onde elettromagnetiche tutto in giro. Ma la distribuzione del campo elettromagnetico dipende dalla forma dell'aereo.

L'antenna verticale irradia egualmente in ogni direzione. Invece l'antenna ad *L* rovesciata irradia preferibilmente secondo la direzione del tratto orizzontale e dal lato della propria discesa. Un aereo a *T* irradia meglio secondo la direzione del tratto orizzontale e in modo eguale nei due sensi.

Si chiamano *diagrammi di emissione* quelle curve che congiungono i punti estremi di segmenti (vettori) di lunghezza proporzionale all'intensità dell'emissione nelle diverse direzioni.

La fig. 53 rappresenta tali curve per il caso di un aereo a *L* e di un aereo a *T*.

Per le onde corte e cortissime è possibile realizzare antenne con proprietà direttive molto spiccate, in modo che le onde elettromagnetiche siano irradiate in una sola direzione (n° 104).

37. - Dipoli hertziani. — Le antenne marconiane vengono impiegate per irradiare onde medie e lunghe. Per le onde corte è preferibile l'uso dei dipoli che derivano dal tipo classico im-

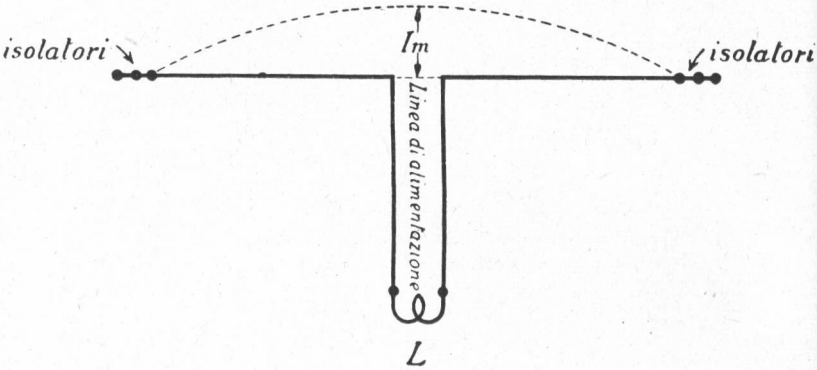


FIG. 54. - Dipolo hertziano nella sua forma costruttiva. Si osservi la linea di alimentazione e la bobina per l'accoppiamento all'oscillatore.

piegato da HERTZ nelle sue esperienze sulle onde elettromagnetiche (n° 6). Nella forma attuale i dipoli sono costituiti da due conduttori eguali disposti l'uno sul prolungamento dell'altro e collegati al centro con la così detta *linea di alimentazione* al cui estremo si trova la bobina che serve ad accoppiare l'aereo al circuito oscillante chiuso del trasmettitore.

Per la loro stessa costituzione i dipoli presentano piccola induttanza e piccola capacità e si prestano, quindi, ad oscillare su frequenze elevate (onde corte) (1).

Anche lungo i dipoli la corrente e la tensione si distribuiscono secondo leggi determinate. Una distribuzione di cor-

(1) Infatti l'induttanza è quella di un breve filo diritto e la capacità si riduce a quella formata da due conduttori, disposti l'uno sul prolungamento dell'altro.

rente molto comune è quella indicata nella fig. 54. Sono possibili altre distribuzioni, purchè si realizzi un ventre di corrente nel punto in cui il dipolo viene alimentato.

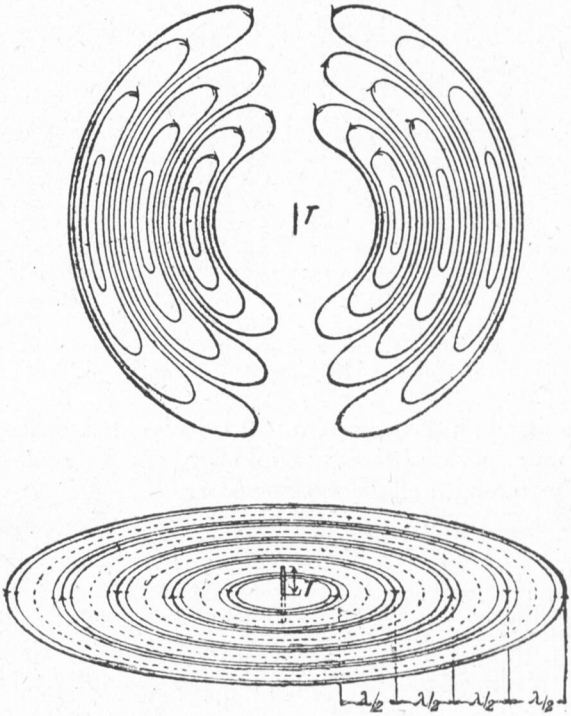


FIG. 55. - La figura illustra l'andamento delle forze elettriche (*sopra*) e di quelle magnetiche (*sotto*) nello spazio circostante un dipolo.

Allo studio dei dipoli si possono estendere le nozioni di altezza efficace, potenza irradiata, resistenza di radiazione, rendimento, ecc. che furono stabilite per le antenne marconiane.

38. - Onde libere e onde semilibere. — Il dipolo hertziano non ha nessun punto in collegamento col suolo e le onde elettromagnetiche che da esso si irradiano sono comple-

tamente *libere* nello spazio. Le fig. 55 e 56 mostrano come si presenta il campo elettrico e il campo magnetico intorno al dipolo.

Invece l'antenna marconiana, essendo collegata col suo

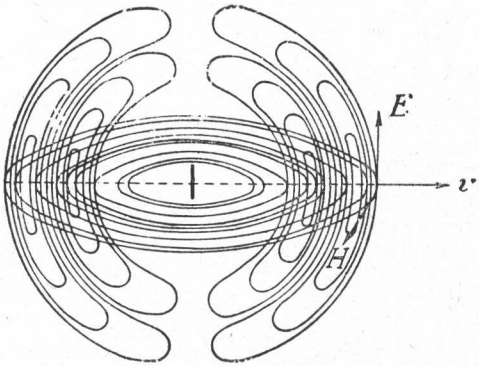


FIG. 56. - Dalla fusione delle due figure precedenti nasce questa visione d'insieme del campo elettromagnetico intorno al dipolo.

estremo inferiore a terra, genera nello spazio linee di forza elettrica ancorate, per così dire, al suolo (fig. 58). Le onde elettromagnetiche ottenute si dicono *semilibere*.

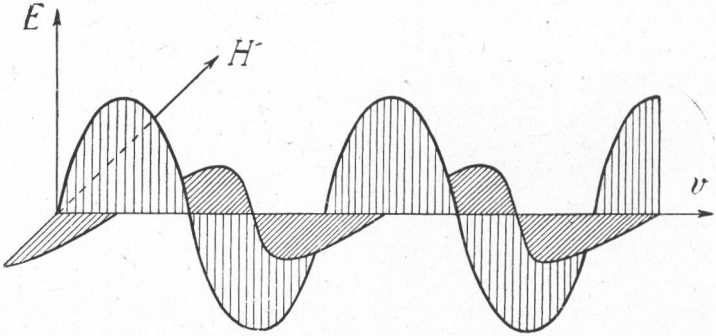


FIG. 57. - Ecco una rappresentazione grafica (*ascisse:* distanze; *ordinate:* intensità del campo) dei due campi, elettrico e magnetico, illustrati in fig. 56.

Esaminando le due figure precedenti si conclude che il campo elettrico e il campo magnetico si propagano, in ogni caso, in due piani tra loro perpendicolari. Assumiamo due assi cartesiani, riportando in ascisse le distanze dei vari punti dello

spazio dall'antenna trasmittente e in ordinate le intensità di ciascuno dei due campi: otterremo un diagramma come quello di fig. 57. Come si vede, le due curve hanno andamento sinusoidale. Nel tempo, in ciascun punto si modifica il valore del campo elettrico e di quello magnetico, in modo che la cresta

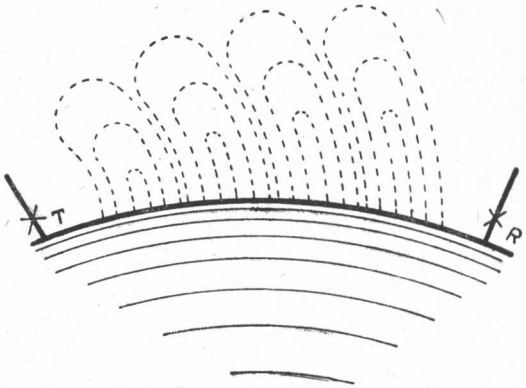


FIG. 58. - Le onde semilibere si propagano nello spazio restando vincolate a suolo. Questo spiega come si possa superare la curvatura della Terra.

d'onda si sposta lungo la direzione della propagazione con la velocità della luce. È proprio come un'onda che passi nello spazio e la rappresentazione grafica della fig. 57 ricorda la perturbazione che si forma alla superficie di uno specchio d'acqua per la caduta di un sasso.

39. - Comunicazioni con raggio diretto e con raggio riflesso. — Il fatto che le onde elettromagnetiche irradiate da un'antenna marconiana sono *semilibere*, cioè sono vincolate al terreno, spiega come sia possibile ottenere comunicazioni radiotelegrafiche oltre l'ostacolo naturale dei monti e oltre la curvatura della Terra. Infatti le onde sono guidate lungo il suolo e quindi ne seguono l'andamento.

Reca, invece, meraviglia che anche le onde *libere* irradiate da un dipolo (1) riescano a superare la curvatura della Terra, men-

(1) In verità, anche per queste onde il suolo si comporta come una guida e quindi non è completamente esatto dire che le onde irradiate da un dipolo si propaghino in linea retta.

tre sembrerebbe logico pensare che esse si propagassero in linea retta come un raggio di luce, perdendosi nell'alta atmosfera. Il comportamento delle onde libere si spiega con la teoria di KENNELLY e HEAVISIDE (1), secondo la quale gli alti strati atmosferici sono *ionizzati* (2), e perciò resi conduttori dall'a-

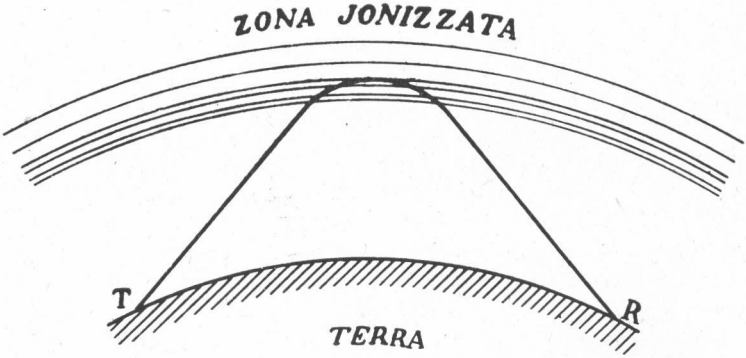


FIG. 59. - La jonosfera si comporta come un riflettore per le onde molto corte. I raggi, successivamente riflessi, possono superare qualunque distanza geografica.

zione dei raggi ultravioletti del sole e dalle radiazioni cosmiche. Questi strati, situati tra i 100 e i 300 km. dal suolo, costituiscono la *ionosfera*.

Poichè una superficie conduttrice ha la proprietà di riflettere le onde elettromagnetiche, si verifica questo: le onde irradiate dall'antenna trasmittente *T* si propagano liberamente nello spazio in linea retta, raggiungono la ionosfera e vengono nuovamente riflesse contro terra; si dirigono di nuovo verso la ionosfera e ivi subiscono una riflessione successiva; e così via. In questo modo esse riescono a seguire tutta la curvatura della Terra.

(1) Pronuncia: *Hêvisaid.*

(2) La *ionizzazione* è un fenomeno che si manifesta nei gas rarefatti per effetto di un'elevata differenza di potenziale o di alcune particolari radiazioni. Il fenomeno consiste in questo: le molecole gassose si separano in due *ioni*, ossia in due particelle una delle quali è caricata positivamente e l'altra negativamente. In tali condizioni il gas si comporta come un conduttore, perchè, applicando tra due punti una d. d. p., si realizza un movimento di ioni, cioè di cariche elettriche, nei due sensi (corrente di convezione).

CAPITOLO VI

DISPOSITIVI ELETTROACUSTICI

40. - Notizie generali. — Dicesi «*suono*» la particolare sensazione che si percepisce allorchè l'orecchio raccoglie parte dell'energia emessa da un corpo in vibrazione. Tale energia si trasmette dalla sorgente sonora al nostro orecchio attraverso un adeguato mezzo elastico, che ordinariamente è l'aria. Le vibrazioni emesse dalla sorgente di suono producono in seno al mezzo successive rarefazioni e compressioni che danno luogo alla propagazione del suono stesso (vedi fig. 4).

In acustica si insegna che ciascun suono è caratterizzato dalla sua *altezza*, dall'*intensità* e dal *timbro*.

L'altezza di un suono dipende dalla frequenza (e cioè dal numero delle oscillazioni al secondo) con cui vibra la sorgente sonora. Tale frequenza è stata fissata convenzionalmente entro i limiti di 30 a 30 mila periodi al secondo. Ma, in effetti, il limite superiore di udibilità dell'orecchio umano non supera i 16 mila periodi al secondo e già a 10 mila periodi corrisponde una nota molto acuta, quasi intollerabile.

Tutto l'insieme delle frequenze contenute nei limiti sopra indicati, costituisce la *gamma delle frequenze acustiche* o delle *audiofrequenze*.

L'intensità poi di un suono dipende dall'ampiezza della vibrazione della sorgente sonora, per cui, a parità di altezza, si possono avere suoni deboli, oppure più o meno forti.

Il timbro, infine, è quella caratteristica per cui un suono emesso da uno strumento si differenzia dal suono di eguale

altezza emesso da un altro strumento. Si tratta di un particolare colorito che possiede ciascun suono e che dipende dalla maggiore o minore influenza delle vibrazioni accessorie che arricchiscono ogni suono, aggiungendosi alla vibrazione fondamentale che ne stabilisce l'altezza.

La tecnica della ripresa e della riproduzione dei suoni a mezzo di dispositivi elettrici ha dato luogo ad un ramo nuovo della scienza, che prende il nome di *elettroacustica*. I principali di questi dispositivi sono: i *microfoni*, i *ricevitori telefonici* e gli *altoparlanti*, le *prese fonografiche* e i *dispositivi incisori*.

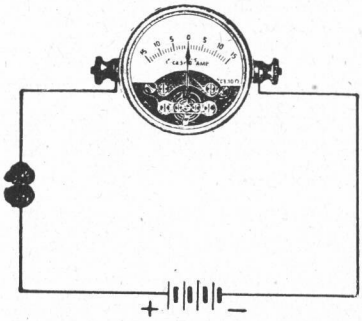


FIG. 60. - Principio di funzionamento del microfono a carbone: facendo variare la pressione meccanica esercitata tra i due frammenti di carbone si ottiene una notevole variazione di corrente nel circuito.

Molti di questi apparecchi trovano anche applicazione in radiotecnica negli apparati trasmittenti e riceventi ed è per questo che vogliamo darne qui una breve descrizione.

41. - Microfoni. — Il microfono è un dispositivo che viene messo in azione dalla voce, o dal suono qualunque che si vuole trasmettere, e che genera nel circuito elettrico ad esso collegato, vibrazioni di corrente corrispondenti a quelle del suono che lo ha colpito. Vi sono vari tipi di microfoni: il più antico e il più comunemente impiegato, almeno nella telefonia ordinaria (molto meno, nelle altre applicazioni), è quello *a contatti di carbone*, inventato da MEUCCI (1) e poi perfezionato da BELL (2) e da EDISON (3).

(1) ANTONIO MEUCCI, nacque a Firenze nel 1805 e morì povero e ignorato in America nel 1889.

(2) ALESSANDRO GRAHAM BELL, nacque a Boston nel 1874 e morì nel 1922.

(3) TOMMASO ALVA EDISON, celebre fisico e inventore americano, nacque a Milan, nello Stato dell'Ohio, il 10 febbraio 1847 e morì il 18 ottobre 1931 nella sua casa di Llewellyn-Park, nella contea di West Orange.

Il carbone è un conduttore che per la sua struttura poco omogenea è dotato di una caratteristica proprietà: se si forma un contatto fra due frammenti realizzando un circuito come quello di fig. 60, si ottiene una resistenza elettrica fortemente variabile secondo la pressione meccanica che si esercita sul contatto. Infatti, l'indice dell'amperometro oscilla notevolmente, allorchè si stringono tra le dita i due frammenti di carbone. Ne segue, che se un sistema di contatti di carbone è opportunamente disposto e viene colpito da un suono trasmesso attraverso l'aria, le oscillazioni di pressione e di depressione dovute alle onde sonore producono corrispondenti variazioni nella resistenza del contatto. Quindi, se il sistema è inserito in un circuito alimentato da una pila, la corrente subisce fluttuazioni in corrispondenza delle vibrazioni sonore che lo colpiscono. La corrente che attraversa il circuito, aumenta e diminuisce intorno al valore di riposo. Poichè in tale fenomeno interviene la pila quale generatore di lavoro, la potenza energetica convogliata da queste fluttuazioni può essere ben superiore a quella, così debole, contenuta nelle onde sonore. Il nome di «*microfono*» viene appunto da tale considerazione, perchè, da principio, questo apparecchio fu adoperato più specialmente come amplificatore dei suoni, nello stesso modo come il microscopio è un amplificatore delle immagini.

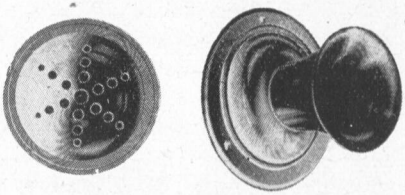


FIG. 61. - *A sinistra:* capsula microfonica a polvere di carbone; *a destra:* la stessa montata nella sua custodia.

Il principio di funzionamento descritto è stato applicato in pratica in vari modi. Una disposizione costruttiva abbastanza comune è la seguente: una scatola metallica è riempita di granellini di carbone agglomerato (1) ed è chiusa da una parete formata da un sottile disco, anch'esso di agglomerato di carbone

(1) Particolare importanza ha la preparazione e la scelta dei granuli di carbone. Essi sono ottenuti dal *coke*, cui si aggiunge una certa quantità di nero fumo, impastando il tutto con catrame; si realizzano piccole sfere di circa 1 mm di diametro comprimendo la pasta a pressione notevole.

tenuto isolato dal resto della scatola. La corrente generata dalla pila attraversa la lamina, indi i granuli che sono a contatto con la parete della scatola metallica e prosegue per la linea che è collegata alla scatola stessa. Si parla o si emette un suono qualunque davanti alla lamina, preferibilmente sussidiata da una imboccatura atta a raccogliere le onde sonore. La membrana si trova sottoposta, per effetto delle onde stesse, a successive pressioni e depressioni che vengono trasmesse ai granuli; essendo i contatti tra questi numerosi e tutti influenzati dalle variazioni di pressione, la resistenza del microfono varia in conformità. Quindi, la corrente varia nel circuito con un andamento che riproduce con una certa approssimazione quello delle onde sonore che hanno provocato il fenomeno.

La disposizione costruttiva più impiegata nei moderni microfoni è la seguente. Una scatola metallica, il cui coperchio anteriore è forato, contiene la così detta *capsula microfonica* costituita da un blocchetto cilindrico di carbone munito di pozzetti o di solchi concentrici entro i quali vengono alloggiati i granuli di carbone. Anteriormente è disposta la membrana di carbone e un anello di feltro impedisce ai granuli di sfuggire attraverso l'interspazio tra la membrana e il blocchetto. Questo poi è fissato alla scatola metallica a mezzo di due viti isolate ed è a contatto con una molla a chiocciola. La membrana di carbone è, invece, a contatto con la scatola. La corrente circola dalla membrana al blocchetto di carbone attraverso i granuli.

Si costruiscono pure microfoni a *doppia capsula* con una membrana tesa al centro e due blocchetti di carbone. Questi microfoni sono meno sensibili, però permettono di conseguire una maggiore fedeltà di riproduzione.

I microfoni a carbone sono molto impiegati nella telefonia ordinaria per la loro elevata sensibilità. Per contro, essi presentano l'inconveniente di generare un notevole fruscìo di fondo causato da un minuto scintillìo, come una serie di piccoli archi, che si producono nell'interno della capsula, tra un granellino e l'altro di carbone. Altro grave inconveniente del microfono a carbone è la poca fedeltà di riproduzione per cui alcuni suoni che corrispondono a vibrazioni molto rapide, non riescono del tutto

intelligibili: per es non si distingue la parola «*sessanta*» da «*settanta*».

Questi difetti che non sono gravi nella telefonia ordinaria, si esaltano notevolmente allorchè il microfono sia collegato ad un amplificatore. Pertanto nelle stazioni radiotrasmittenti, per l'incisione dei dischi grammofonici, per la ripresa fonica nella cinematografia sonora e, in genere, quando occorra una riproduzione molto fedele, esente da distorsione, si ricorre ad altri tipi di microfoni.

I microfoni a *condensatore* sono costituiti da due lastre metalliche, una dello spessore di qualche millimetro e l'altra solo di qualche decimo di millimetro. Quest'ultima costituisce la membrana del microfono, atta a vibrare per azione delle onde sonore. Le due lamine sono elettricamente isolate tra loro, situate a minima distanza e costituiscono un condensatore di piccola capacità. La pressione esercitata dalle onde sonore sulla membrana vibrante fa variare la distanza tra le due armature e quindi la capacità del condensatore. Tali variazioni di capacità, agendo in particolari circuiti, ove sono predisposte opportunamente delle valvole termoioniche, possono influenzare il valore di corrente che li attraversa, trasformando, così, le variazioni di pressione acustica in correnti variabili.

Fig. 62. - Moderno microfono a nastro per radiotrasmittenti.

Un altro tipo di microfono è quello *a nastro*. Un sottile nastro metallico ondulato è sospeso tra i poli di un elettromagnete o di un magnete permanente. Quando il nastro è colpito da un'onda sonora entra in vibrazione e nel suo movimento taglia le linee magnetiche e diventa sede di f. e. m. indotte. Il nastro fa capo a due morsetti isolati che si possono collegare ad un circuito esterno. Tutto il sistema è chiuso in una

scatola metallica munita di feritoie in corrispondenza del nastro.

Il microfono *a bobina mobile* ha un funzionamento basato sullo stesso principio del tipo precedentemente descritto. Nel campo di una potente calamita permanente può liberamente oscillare una piccola bobina di filo di rame rigidamente collegata ad una membrana di tipo semisferico. Le variazioni di pressione esercitate da un'onda sonora sulla membrana ne determina la vibrazione, e pertanto, la bobina muovendosi nel campo magnetico, diventa sede di una f. e. m. indotta che viene poi amplificata a mezzo di valvole termoioniche.

In questi ultimi anni, si sono diffusi i così detti *microfoni piezoelettrici* che utilizzano alcune proprietà caratteristiche di certi cristalli, come il *quarzo*, la *tormalina* e il *sale di Seignette*, che è il più usato.

Il sale di Seignette è un tartrato doppio di sodio e di potassio che si presenta sotto forma di cristalli prismatici. Questi cristalli sono molto fragili, ma, con una certa precauzione è possibile ottenerli omogenei, nelle volute dimensioni. Da questi cristalli si possono tagliare poi, seguendo particolari norme, dei parallelepipedi di più piccole dimensioni. Due facce opposte di questi vengono metallizzate in modo da servire da elèttrodi.

I parallelepipedi di sale di Seignette, così preparati, godono di due interessanti proprietà. Se viene applicata una d. d. p. alle due facce contrapposte, il cristallo si deforma, accorciandosi o allungandosi, secondo il senso della f. e. m. impressa. Invece, se si sottopone il cristallo ad un'azione meccanica, ad es. una compressione, nasce una d. d. p. tra i due elèttrodi. In conclusione, se tra le facce del cristallo si applica una d. d. p. alternata, il cristallo entra in vibrazione; se il cristallo vien fatto vibrare, si forma tra le sue facce una tensione oscillante.

Questa proprietà di trasformare energia elettrica in energia meccanica e viceversa, viene chiamata *piezoelettricità*.

Le proprietà di questi cristalli vengono utilizzate nel modo seguente per la costruzione di un microfono. Si costituiscono delle «*cellule*», formata ciascuna da due piastrine del cristallo prescelto, alle quali sono fissati due elèttrodi laterali e un elèttrodo

al centro. Quando un'onda sonora colpisce la cellula, crea nel cristallo pressioni di ampiezza più o meno grande, a seguito delle quali si destano tensioni elettriche più o meno elevate sugli elèttrodi metallici capaci di agire nei circuiti ad essi collegati.

In generale, i microfoni sono costituiti da più *cellule* montate insieme, perchè tale disposizione consente di ottenere una maggiore sensibilità. Le diverse cellule vengono disposte l'una sull'altra e protette da una scatola esterna, munita di feritoie. Lo spessore delle lamine di cristallo è di circa 0,25 mm, in modo che la frequenza propria di risonanza si trovi al disopra della gamma dei suoni. I cristalli vengono accuratamente verniciati prima del montaggio, onde evitare che l'acqua di cristallizzazione si depositi alla superficie.

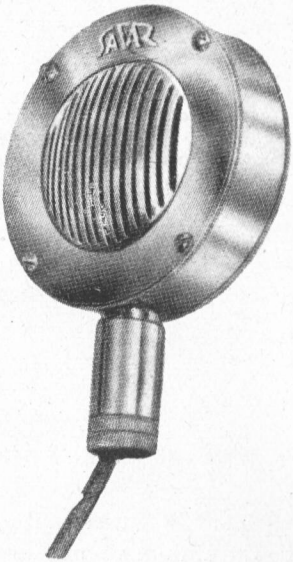


FIG. 63. - Microfono piezoelettrico.

I microfoni piezoelettrici presentano alcuni vantaggi rispetto agli altri: sono robusti, non producono fruscìo di fondo e riproducono abbastanza fedelmente le frequenze acustiche entro una vasta gamma.

42. - Ricevitori telefonici. — Il ricevitore telefonico adempie ad una funzione precisamente opposta a quella del microfono: e cioè trasforma le correnti variabili in vibrazioni di carattere acustico. Esso è schematicamente costituito da un magnete permanente sulla cui espansione polare è avvolta una bobinetta di moltissime spire. Di fronte al polo del magnete, a distanza di qualche millimetro, è disposta una lamina circolare di ferro dolce. Nelle condizioni ordinarie, e cioè quando nessuna corrente attraversa il filo della bobina, la membrana

è leggermente incurvata per l'azione attrattiva della calamita; se, invece, la bobinetta è attraversata da corrente variabile, come quella che proviene da un microfono, la membrana entra in vibrazione producendo gli stessi suoni che fecero vibrare la membrana del microfono.

Vi sono anche ricevitori

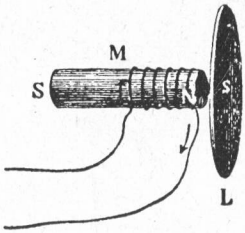


FIG. 64. - Principio di funzionamento del ricevitore telefonico.

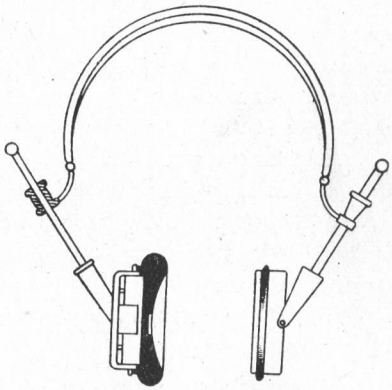


FIG. 65. - Cuffia telefonica.

nei quali la membrana è sottoposta all'azione contemporanea di entrambi i poli del magnete, sui quali sono disposte due bobinette attraversate in serie dalla corrente microfonica. Questi ricevitori presentano maggiore sensibilità di quelli unipolari.

Nella radiotelegrafia è di uso molto comune la *cuffia telefonica*, costituita da due ricevitori distinti riuniti insieme da un archetto elastico che ha la funzione di sorreggere gli auricolari e di mantenerli serrati alle orecchie. Questo tipo di ricevitore consente all'operatore di tenere libere le mani per la manovra dell'apparato ricevente e per trasmettere col tasto; lo isola, inoltre, dall'ambiente circostante, mantenendolo più concentrato nell'ascolto dei segnali.

43. - Altoparlanti. — I telefoni altoparlanti, detti semplicemente *altoparlanti*, consentono la riproduzione acustica in ambienti vasti per l'ascolto collettivo della musica e della parola. Naturalmente, essi richiedono una potenza di alimentazione

notevolmente maggiore di quella necessaria per un ordinario ricevitore telefonico.

Gli altoparlanti possono essere di tipo diverso: fondamentalmente *elettromagnetici* ed *elettrodinamici*.

Gli altoparlanti elettromagnetici derivano dal tipo ordinario di ricevitori telefonici descritti precedentemente: le dimen-

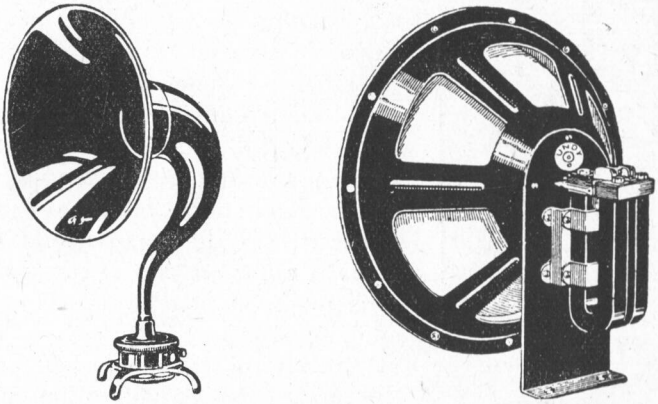
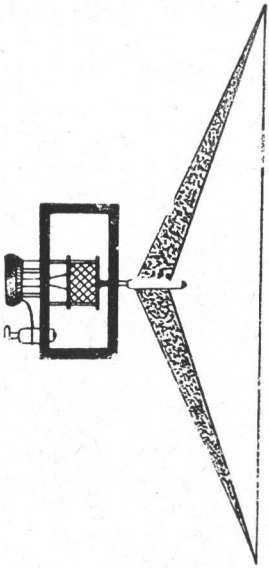


FIG. 66. - Il vecchio altoparlante a tromba dalla voce cavernosa e metallica e, *a destra*, un diffusore elettromagnetico a cono.

sioni sono maggiori e il magnete permanente è di potenza più grande. Al ricevitore è poi applicato un risonatore acustico, una specie di tromba, il cui profilo viene studiato in modo da conseguire la migliore riproduzione e il massimo rendimento.

Risultati più soddisfacenti, soprattutto per quanto riguarda la bontà della riproduzione musicale, si sono ottenuti sostituendo l'insieme della tromba e della membrana vibrante con un cono di cartone compresso, munito di un'asticella metallica solidale con un'ancoretta di ferro dolce. Questa ancoretta vibra nel campo magnetico generato da una calamita permanente su cui è avvolta una piccola bobina di molte spire. Questo tipo di altoparlante a cono di carta è comunemente chiamato «*diffusore*». Esso consente una riproduzione acustica migliore di quella fornita da un ordinario altoparlante a tromba, la cui voce ha sempre un timbro cavernoso e metallico che riesce poco gradito.



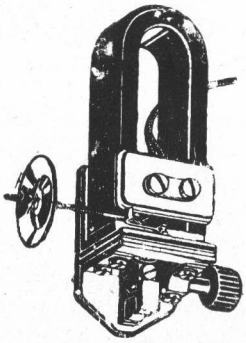


FIG. 67. - *Sopra:* insieme di un diffusore a cono di carta; *Sotto:* dettaglio della parte magnetica.

Ma, oggi, è molto più impiegato un altro tipo di altoparlante, detto *elettrodinamico* o *a bobina mobile*, che consente una grande potenza sonora e una considerevole purezza di riproduzione.

La fig. 68 illustra la sezione schematica d'un altoparlante elettrodinamico. In esso si ha sostanzialmente un circuito magnetico che presenta un intraferro anulare nel quale una bobinetta, solidale con un cono di carta, può subire piccoli spostamenti assiali. Il circuito magnetico è eccitato a mezzo di una cosidetta «*bobina*» o «*avvolgimento di campo*» che si fa percorrere da corrente continua allo scopo di creare un notevole flusso nell'intraferro. Quando la bobina mobile è percorsa da correnti variabili, si destano delle azioni elettrodinamiche tra il campo magnetico fisso prodotto dall'avvolgimento di eccitazione, e quello variabile prodotto dalle correnti che attraversano la bobina. Questa, allora, entra in vibrazione insieme al cono col quale è solidale. In tal modo, si realizza la traduzione di correnti elettriche variabili in suoni.

La bobina di eccitazione, di solito, ha una resistenza di alcune migliaia di ohm (i valori più comuni sono: 1200 ohm, 1800 ohm, 2500 ohm, 10.000 ohm). Invece, la bobina mobile è generalmente costituita da poche spire, avvolte su di un cilindretto di cartone bakelizzato e la sua resistenza è bassa (di solito, è compresa tra 2 e 10 ohm).

Particolare cura pongono i costruttori nella realizzazione del cono di carta che è ottenuto con procedimenti particolari.

La riproduzione ottenibile con gli altoparlanti elettrodinamici è migliore di quella che si può conseguire con i tipi elettromagnetici. Non mancano, tuttavia, cause di distorsioni di cui la più grave è dovuta a fenomeni di risonanza del cono, che ha la tendenza di amplificare certe frequenze, attenuandone altre. Si

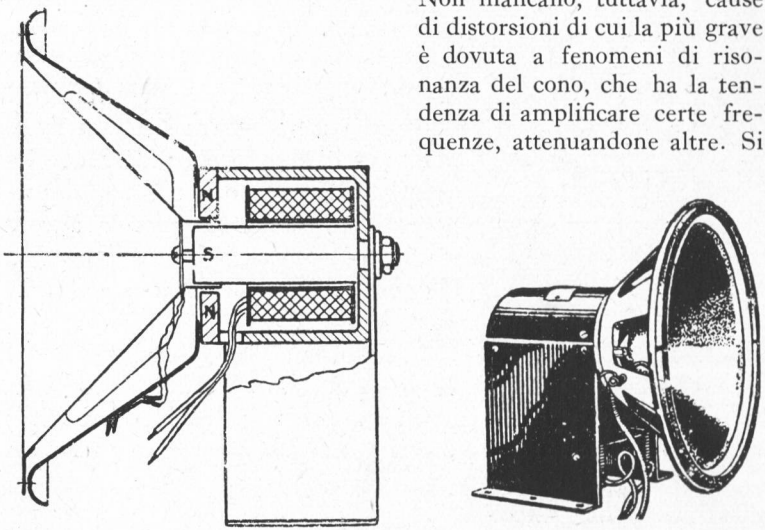


FIG. 68. - Sezione di un altoparlante elettrodinamico e insieme dell'apparecchio.

tende ad eliminare questo inconveniente con gli altoparlanti a forte eccitazione, nei quali il cono è frenato nelle sue oscillazioni libere. Un altro miglioramento si è ottenuto dotando l'altoparlante di uno schermo acustico (*baffle-board* come dicono i tecnici americani). Questo schermo è costituito da un pannello di legno fissato anteriormente ed ha lo scopo di impedire le interferenze tra le onde sonore che vengono a crearsi anteriormente e posteriormente al cono vibrante.

Per forti audizioni all'aperto o in vasti teatri si adoperano altoparlanti elettrodinamici con membrana di alluminio, muniti di tromba, la cui forma e dimensioni hanno somma importanza per la riproduzione acustica. Buoni risultati si sono conseguiti con le così dette *trombe esponenziali* e con quelle *ortofoniche*.

44. - Il riproduttore grammofonico. — Questo dispositivo detto pure *diaframma elettrico*, *rivelatore fonografico* o, con parola straniera, *pick-up*, viene impiegato per la riproduzione elettrica dei dischi grammofonici.

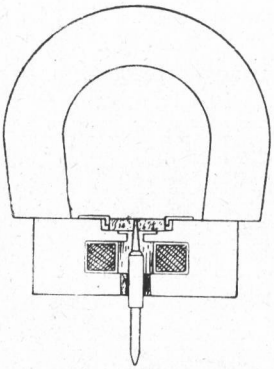


FIG. 69. - Sezione di un diaframma elettromagnetico.

Il tipo più impiegato è quello *elettromagnetico*, costituito da un magnete permanente di acciaio speciale, a ferro di cavallo, nel cui intraferro è libera di oscillare un'ancoretta di ferro dolce, che si rende solidale con la puntina di acciaio a mezzo di una vite di pressione. La piccola àncora di ferro è contenuta in una bobinetta di moltissime spire di filo di rame molto sottile.

Per ottenere la riproduzione del disco grammofonico, questo vien fatto ruotare a mezzo di un motorino (a molla o elettrico) alla velocità normale di 78 giri al minuto, mentre la punta del riproduttore è costretta a seguire il solco elicoidale ed è messa in vibrazione dalle incisioni più o meno profonde registrate sul disco (1).

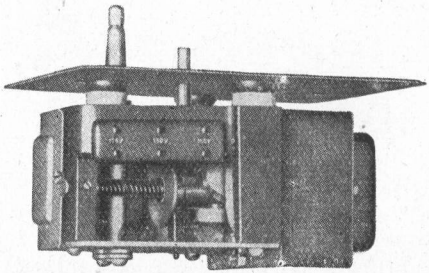


FIG. 70. - Motorino elettrico giradischi.

Questi movimenti della punta sono comunicati all'ancoretta di ferro, che, oscillando nell'interferro, produce variazioni di flusso magnetico atte a generare f. e. m. indotte nella bobinetta. I capi di questa sono collegati di solito ad un amplificatore che

(1) Vedi al nº 115 del capitolo XV, quanto è detto sulla tecnica della registrazione.

aziona un altoparlante, attraverso il quale si rende udibile la registrazione effettuata sul disco.

Per smorzare, o contenere entro certi limiti, le oscillazioni dell'ancoretta si usano speciali dispositivi, il più comune dei quali consiste nel mantenere centrata l'ancoretta a mezzo di viti laterali regolabili, interponendo delle spugnette di gomma.

Si costruiscono anche riproduttori fonografici del tipo *piezoelettrico*. In questi dispositivi, i movimenti della punta sollecitano a vibrare un piccolo dado di sale di Seignette, metalizzato sulle due facce opposte. Le azioni meccaniche si trasformano allora in corrispondenti tensioni elettriche sugli elèttrodi metallici e queste tensioni, opportunamente amplificate, possono dar luogo ad una riproduzione musicale a mezzo di un altoparlante.

I riproduttori piezoelettrici hanno il vantaggio di una notevole leggerezza (i dischi si conservano più a lungo) e quello di fornire una buona riproduzione delle frequenze acustiche più elevate.

45. - Norme per l'uso dei dispositivi elettroacustici. — L'inserzione degli apparecchi precedentemente descritti richiede qualche cautela, allo scopo soprattutto di poter conseguire il rendimento massimo. In particolare, bisogna tener conto della resistenza interna dell'apparecchio, in relazione alla resistenza del circuito al quale esso deve essere collegato.

Nella maggior parte dei casi, si consegue il rendimento più alto, quando le due resistenze sono presso a poco eguali. Qualora questa condizione non sia verificata, è necessario che tra il dispositivo elettroacustico e il circuito al quale esso va collegato, sia interposto un particolare trasduttore, per adeguare la resistenza dell'uno a quella dell'altro.

Così un microfono a carbone, la cui resistenza è al massimo di qualche centinaio di ohm, non può collegarsi direttamente al circuito di entrata di un amplificatore termoionico che ha resistenza più grande, ma è necessario interporre un trasformatore detto appunto *trasformatore microfonico*. Il primario di questo è costituito da poche spire di filo piuttosto grosso (pic-

cola resistenza), mentre il secondario è sottile (resistenza elevata).

Gli altoparlanti elettromagnetici sono costruiti in generale in modo che le bobine abbiano resistenza presso a poco eguale a quella dei circuiti di uscita degli amplificatori termoionici e perciò il collegamento si fa direttamente. Non così gli altoparlanti elettrodinamici, la cui bobina mobile, per riuscire leggera e di piccole dimensioni, non può contenere molte spire e perciò risulta di resistenza assai piccola (2 a 10 ohm). Essa, pertanto, non può essere inserita direttamente nei circuiti di uscita degli amplificatori termoionici, ma è necessario interporre un trasformatore il cui primario è di resistenza elevata e si collega all'amplificatore, mentre il secondario è di bassa resistenza e viene collegato alla bobina mobile dell'altoparlante.

In generale, questo trasformatore è montato direttamente sull'altoparlante (*trasformatore di uscita*) ed è costruito in modo da adeguarsi al tipo di valvola che costituisce lo stadio finale dell'amplificatore cui l'altoparlante va collegato.

Invece i rivelatori fonografici, sia di tipo elettromagnetico che di tipo piezoelettrico, sono costruiti in modo da potersi direttamente collegare all'entrata degli amplificatori termoionici.

CAPITOLO VII

LE AMPOLLE ELETTRONICHE

46. - Notizie generali. — Le *ampolle elettroniche* (o *tubi elettronici*) sono dispositivi nei quali si producono elettroni

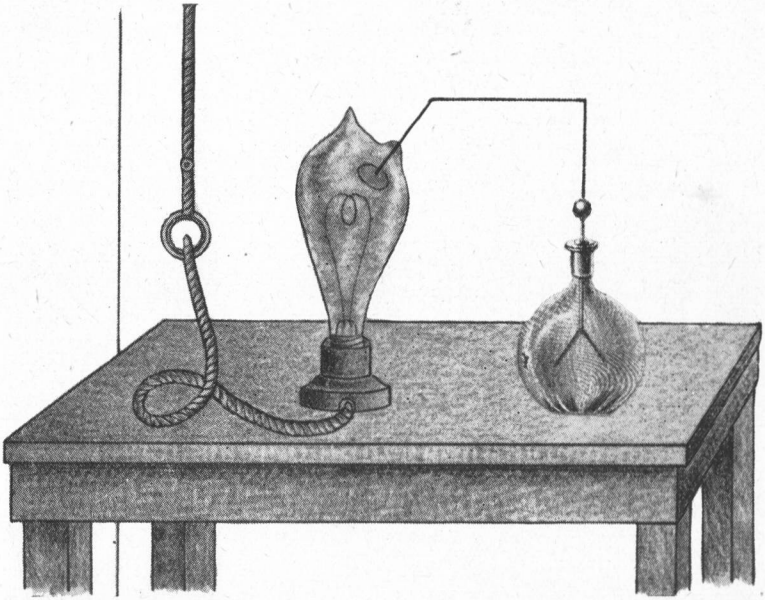


FIG. 71. - L'esperimento qui illustrato è il primo in ordine storico che abbia utilizzato l'emissione di elettroni liberi da un càtodo incandescente. La deviazione delle foglioline dell'elettroscopio accusa la carica negativa acquistata dal dischetto.

liberi che, sottoposti ad opportuno controllo, vengono, poi incanalati in un circuito esterno, ove si utilizzano sotto forma di una corrente elettrica.

Tra i vari tipi di ampolle elettroniche, hanno particolare importanza le *valvole termoioniche* il cui funzionamento è basato sul seguente principio scoperto da EDISON (1): molti corpi, e segnatamente alcuni metalli, abbandonano facilmente un certo numero di elettroni allorchè sono riscaldati nel vuoto.

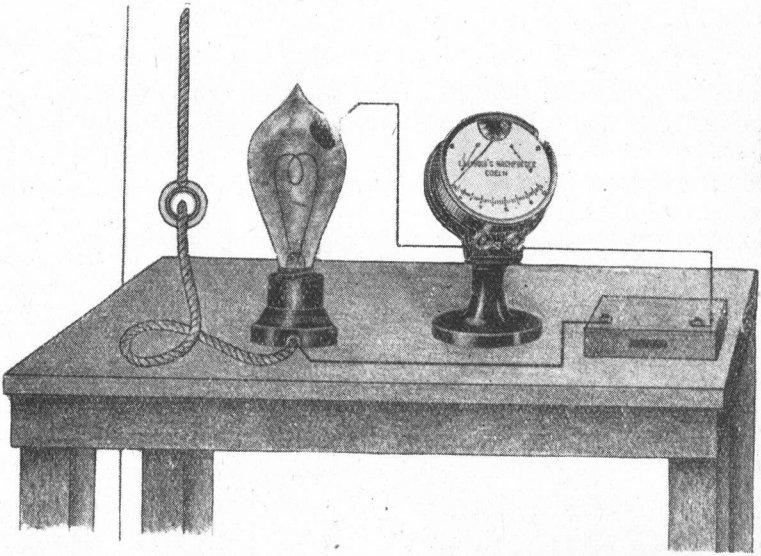


FIG. 72. - Questa seconda esperienza, condotta alcuni anni più tardi, dimostra già una certa maturità nella conoscenza dei fenomeni elettronici. Il dischetto ora è reso positivo a mezzo di apposita batteria. Gli elettroni accorrono verso di esso e s'incanalano nel circuito esterno, formando una corrente.

Si consideri un'ampolla di vetro nella quale sia realizzato un vuoto molto spinto, a mezzo di apposite pompe. Nell'ampolla si trova un filamento di tungsteno, come in un'ordinaria lampada elettrica, e un dischetto metallico che si collega ad un elettroscopio a mezzo di un conduttore saldato nel vetro.

(1) Vedi nota a pag. 66.

Se si riscalda il filamento a mezzo della corrente fornita da una batteria di pile o accumulatori (o dalla rete industriale d'illuminazione), si osserva che le foglioline dell'elettroscopio deviano, accusando una carica elettrica. È facile accertare, allora, che il dischetto metallico contenuto nell'ampolla si è caricato di elettricità negativa.

Questo fenomeno, noto col nome di *effetto* EDISON, si spiega nel modo seguente. Negli atomi dei corpi metallici, gli elettroni satelliti sono vincolati al nucleo da forze molto labili (1). Pertanto si verifica, con notevole frequenza, che uno o più elettroni abbandonino l'atomo e vadano sciamando nei vuoti della materia. Se si riscalda il metallo, aumenta l'energia posseduta dagli elettroni e, quindi, la velocità dei loro movimenti, sino al punto che molti di essi riescono addirittura a sfuggire, liberi, dalla materia. Il fenomeno si manifesta in modo particolare nel vuoto: infatti, in tal caso, gli elettroni sfuggono più facilmente dal metallo, perchè il loro movimento non è ostacolato dalla presenza delle molecole d'aria nello spazio circostante al filamento.

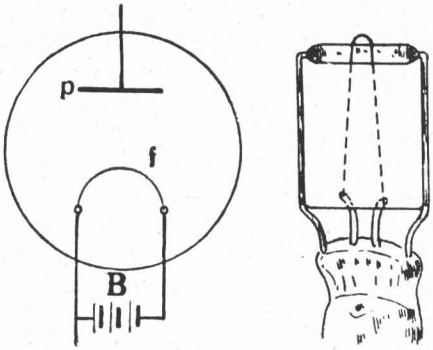
Quando il filamento è acceso, lo spazio vuoto dell'ampolla si riempie di elettroni, cioè di cariche negative, e perciò il dischetto metallico contenuto nell'ampolla si carica anch'esso negativamente e le foglioline dell'elettroscopio deviano.

Un'esperienza assai più interessante è quella illustrata nella fig. 72. Il dischetto metallico contenuto nell'ampolla, invece di essere collegato all'elettroscopio, fa capo al polo positivo di una batteria di pile, che genera una tensione di un centinaio di volt. Il polo negativo della stessa batteria è attaccato al filamento. Un comune milliamperometro è inserito nel circuito. Si verifica questo: gli elettroni emessi dal filamento di tungsteno, richiamati dal dischetto metallico che possiede carica positiva, passano nel circuito esterno nel quale fluiscono sotto

(1) Ricordare la struttura degli atomi. Secondo una concezione un po' troppo modellistica, ma sufficiente per i limiti della presente trattazione, si può supporre che un atomo sia costituito da un raggruppamento di *protoni* (cariche positive), raccolti nel centro a formare il nucleo. Intorno a questo nucleo ruotano incessantemente gli *elettroni* (cariche negative) in numero eguale ai protoni, in modo che l'atomo risulti elettricamente neutro.

forma di corrente elettrica. E, infatti, l'indice del milliamperometro devia dalla posizione di zero e accusa il passaggio di questa corrente.

47. - Valvole termoioniche a due elèttrodi. — La prima pratica applicazione dei fenomeni termoionici fu realizzata da J. A. FLEMING (1), il quale brevettò nel 1905 un dispositivo atto a sostituire i rivelatori negli apparati riceventi di radiotelegrafia.



a) *b)*

FIG. 73. - *A sinistra:* Simbolo grafico di un dìodo; *a destra:* disposizione costruttiva più comune del càtodo e della placca.

L'ampolla di FLEMING, consta di un bulbo di vetro, vuoto d'aria, che contiene due elementi metallici, chiamati *elèttrodi:* uno è il *filamento* o *càtodo* e l'altro è un cilindretto coassiale detto *placca* o *ànodo* (2).

Questo tipo di ampolla elettronica prende il nome di *valvola termoionica a due elèttrodi* o *dìodo* e negli schemi di radiotecnica viene simbolicamente indicato come in fig. 73 *a*).

La fig. 74 mostra poi lo schema che viene utilizzato in pratica per la inserzione di un dìodo. In questo schema si osserva:

a) il *circuito di filamento* che comprende la batteria B_f, un reostato che serve a regolare l'intensità di corrente (e quindi la temperatura del filamento) e l'amperometro I_f che misura tale corrente;

(1) GIOVANNI AMBROGIO FLEMING, fisico inglese nato a Lancaster il 29 novembre 1849.

(2) *Càtodo* significa elèttrodo negativo e *ànodo* significa elèttrodo positivo. Infatti, la placca è resa positiva dalla batteria di pile collegata esternamente all'ampolla, mentre il filamento è reso negativo.

b) il *circuito di placca* che comprende la batteria B_a, il milliamperometro che misura la corrente I_a che attraversa il circuito esterno e un voltometro per misurare la tensione applicata alla placca V_a.

La batteria B_f è detta *batteria di riscaldamento;* l'altra B_a è chiamata *batteria anodica.* Inoltre I_f è detta *corrente di filamento* e I_a *corrente anodica.*

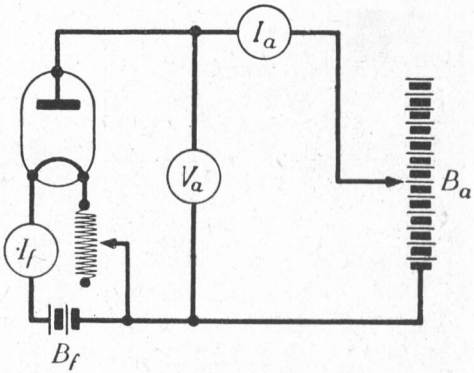


FIG. 74. - Schema fondamentale per lo studio delle proprietà di un diodo.

RICHARDSON ha dimostrato che il numero di elettroni emessi dal filamento aumenta secondo il quadrato della sua temperatura assoluta. Quindi, un aumento anche minimo della corrente di accensione provoca un considerevole aumento dell'emissione elettronica.

Questa, però, dipende anche dalla superficie del càtodo e dal metallo di cui esso è costituito. Il *tungsteno* è generalmente prescelto per la costruzione dei càtodi, appunto perchè provoca, a parità di altre condizioni, un'emissione elettronica maggiore degli altri metalli.

TABELLA II.

EMISSIONE DI UN FILAMENTO DI TUNGSTENO NEL VUOTO

(lunghezza 15 cm; diametro 0,1 mm).

Temperatura in gradi assoluti	**Intensità di corrente in ampere**
1450	16×10^{-9}
1550	10×10^{-8}
1650	9×10^{-7}
1900	9×10^{-5}
2000	10×10^{-4}
2200	10×10^{-3}

Emissioni notevolmente più elevate si ottengono con filamenti di platino o di tungsteno rivestiti da una miscela di ossidi di metalli alcalino-terrosi e principalmente il *torio* e il *bario*, realizzando càtodi che permettono di conseguire una sufficiente emissione elettronica con temperature relativamente basse, intorno ai 1000 gradi centi-

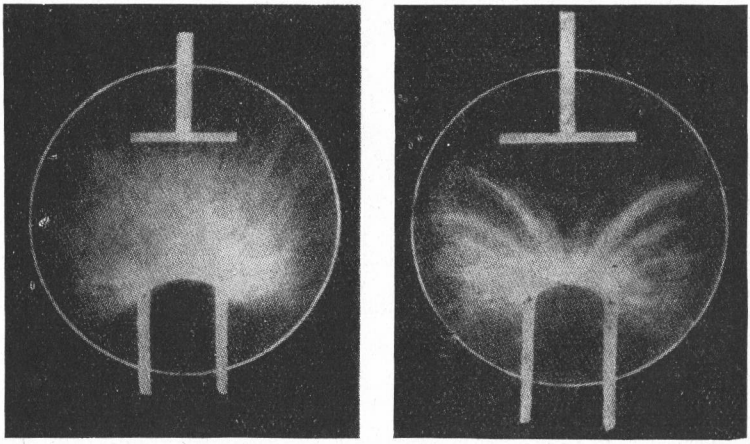


FIG. 75. - Due suggestive figurazioni dello sciame di elettroni entro una valvola a due elèttrodi. *A sinistra:* la placca è positiva e tutti gli elettroni convergono verso di essa. *A destra:* la placca è negativa e respinge gli elettroni verso il càtodo.

gradi. Si ottiene così un rendimento più elevato e una maggiore durata dei filamenti. Le difficoltà per realizzare depositi di ossidi metallici che abbiano la necessaria aderenza e omogeneità, sono state superate mercè i progressi della tecnica metallurgica.

Alcuni fenomeni secondari intervengono a rendere più complicato il funzionamento dell'ampolla a due elèttrodi e principalmente due: il fenomeno della carica spaziale e quello della emissione secondaria.

Il fenomeno della *carica spaziale* consiste in questo: gli elettroni, appena usciti dal filamento, vanno a formare intorno ad esso una specie di nube di corpuscoli negativi. L'azione che questa nube produce è di ostacolare la libera uscita di altri elettroni dal filamento, perchè essa, costituendo una carica negativa raccolta nello spazio che circonda il filamento, esercita sulle altre cariche negative una forza di repulsione. Nello stesso tempo la carica spaziale viene a

costituire una specie di schermo tra placca e filamento e quindi impedisce che il potenziale positivo anodico possa liberamente agire sul càtodo esercitando la sua azione attrattiva sugli elettroni che questo emette.

L'altro fenomeno cui si fa cenno precedentemente è quello dell'*emissione secondaria:* quando il flusso elettronico emesso dal càtodo incontra un altro elèttrodo (e particolarmente la placca), a seguito dell'urto degli elettroni sul metallo provoca la emissione di altri elettroni detti *secondari*. In certi casi questi elettroni sono riassorbiti dalla placca; in alcuni tipi di valvole che contengono diversi elèttrodi caricati positivamente, questi elettroni vengono a formare una *corrente inversa* a detrimento di quella anodica.

48. - Elementi da cui dipende la corrente anodica. Curve caratteristiche.

L'intensità di corrente che attraversa il circuito anodico dell'ampolla, dipende innanzi tutto dalla temperatura del filamento, come è innanzi specificato. Ma essa dipende pure dal valore di tensione applicata alla placca.

Innanzi tutto, giova osservare che la corrente anodica può circolare solo quando la placca è positiva. In tal caso gli elettroni emessi dal filamento (cariche negative) sono attirati dalla placca positiva e passano nel circuito esterno. Se, invece, la placca si rende negativa (e, a tale scopo, basta scambiare gli attacchi dei poli della batteria ai due elèttrodi dell'ampolla) essa respinge vivamente gli elettroni e nessuno di essi riesce a passare nel circuito esterno. In questo caso la corrente anodica è zero.

Questo particolare comportamento del dìodo giustifica il nome di *valvola* che suol darsi ad esso, in quanto attraverso l'ampolla termoionica la corrente può passare in un senso solo e cioè dalla placca verso il filamento (ricordare che il senso convenzionale della corrente è quello opposto al verso in cui passano gli elettroni).

In pratica, interessa conoscere come varia la corrente anodica al variare della tensione anodica. Non mancano formule teoriche, come quella proposta da LANGMUIR (1); ma è prefe-

(1) LANGMUIR ha stabilito che la corrente anodica *è proporzionale alla radice quadrata del cubo della tensione anodica.* È una legge un po' complicata, della quale non è facile, in questo volumetto, dare un'interpretazione fisica.

ribile eseguire lo studio sperimentale, servendosi del circuito di fig. 74. Si opera nel modo seguente. Si chiude il circuito di filamento e si attende qualche minuto perchè sia raggiunta la temperatura di regime. Si esclude tutta la batteria anodica, in modo che il potenziale di placca sia nullo. Il milliamperometro I_a segna zero. Pertanto possiamo dire che se la tensione anodica è nulla, anche la corrente anodica è nulla. Successivamente la batteria viene inserita a due o tre elementi per volta: si prende nota contemporaneamente della tensione anodica che si legge al vol-

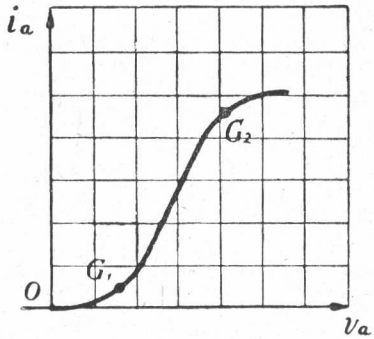


FIG. 76. - Curva caratteristica di una valvola a due elèttrodi.

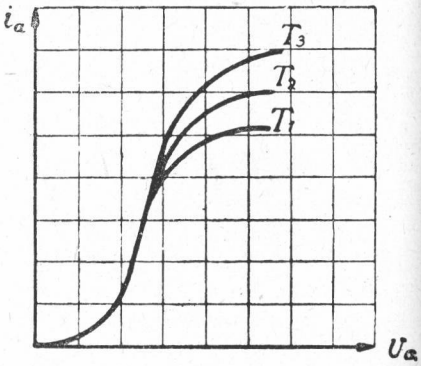


FIG. 77. - Famiglia di curve caratteristiche di una valvola a due elèttrodi.

tometro V_a, e della corrente anodica che si legge al milliamperometro I_a. Da questi valori è poi possibile ricavare una curva, riportando in ascisse le tensioni e in ordinate le rispettive correnti anodiche. Questa curva è rappresentata in fig. 76 e si chiama *caratteristica del diodo*. Essa presenta un primo tratto OG_1 poco inclinato, il che vuol dire che inizialmente un aumento di tensione anodica non provoca aumento notevole di corrente anodica, e ciò è da imputarsi all'azione della carica spaziale. Nel punto G_1, chiamato *ginocchio inferiore*, la curva cambia bruscamente inclinazione e si conserva rettilinea, o quasi, sino al punto G_2, *ginocchio superiore*. Qui, la caratteristica diventa pressochè orizzontale: vuol dire che la corrente anodica ha rag-

giunto un valore massimo non suscettibile di ulteriori aumenti, anche se si fa aumentare la tensione applicata alla placca. Si dice allora che si è verificata la *saturazione*, cioè tutti gli elettroni che il filamento è capace di emettere, passano nel circuito anodico.

La curva caratteristica così ottenuta si riferisce ad un determinato valore T_1 della temperatura del filamento; ad una temperatura T_2 più elevata, il càtodo emette un maggior numero di elettroni e quindi anche la corrente di saturazione è maggiore. Pertanto, se si aumenta la corrente di accensione, regolando il reostato, si può ricavare un'altra caratteristica che coincide solo nel primo tratto con quella precedente, ma che si distacca nel tratto superiore, raggiungendo un valore più elevato di corrente di saturazione. Dunque, per ogni dìodo si possono ricavare diverse curve caratteristiche che, nel loro insieme, costituiscono una *famiglia:* ciascuna di esse si riferisce ad una diversa temperatura del filamento o, ciò che è lo stesso, ad un diverso valore della corrente di accensione.

49. - Resistenza interna di un dìodo. — Un dìodo, inserito in un circuito, si comporta come un conduttore avente una certa resistenza R_a, tale che applicando ad esso una certa tensione V_a, si realizza l'intensità di corrente I_a.

Si giunge, così, al concetto di *resistenza interna* di un dìodo.

Comunque, non sarebbe esatto definire questa resistenza interna come semplice rapporto tra la tensione applicata e l'intensità di corrente che passa, in obbedienza alla legge di Ohm. Sta di fatto che la resistenza interna di un dìodo è diversa secondo il valore della tensione applicata, cioè è diversa da punto a punto della sua curva caratteristica.

Pertanto è più esatto definire la *resistenza differenziale*, servendosi del seguente artificio. Supponiamo di applicare al dìodo la tensione V'_a e sia I'_a la corrente anodica corrispondente. Supponiamo, ora, di portare la tensione anodica al valore V''_a e sia I''_a il valore della corrente anodica. La resistenza anodica della valvola sarà definita dal rapporto tra la differenza delle

tensioni applicate alla placca e la differenza delle correnti che attraversano il circuito anodico. Cioè, scriveremo:

$$R_a = \frac{V'_a - V''_a}{I'_a - I''_a}. \qquad [1]$$

In generale, la resistenza interna di un diodo è sempre molto elevata, di alcune migliaia di ohm.

50. - Funzioni che possono disimpegnare i diodi. — I diodi possono essere impiegati:

a) come *rivelatori* delle onde elettromagnetiche;

b) come *raddrizzatori* della corrente alternata.

Per ora, vogliamo descrivere solo il loro funzionamento come raddrizzatori.

51. - Funzionamento dei diodi come raddrizzatori. — Raddrizzare la corrente alternata significa trasformarla in una corrente unidirezionale pulsante, tale cioè che il passaggio degli elettroni nel circuito abbia luogo sempre nello stesso verso. La corrente ottenuta può assumere una delle forme indicate in figura 78. In *a*) è rappresentata una corrente pulsante *ad una semionda*, costituita dalle sole alternanze positive della corrente alternata, mentre quelle negative sono state soppresse del tutto. Invece in *b*) è indicata una corrente pulsante *a due semionde*, a costituire la quale concorrono entrambe le alternanze della corrente alternata.

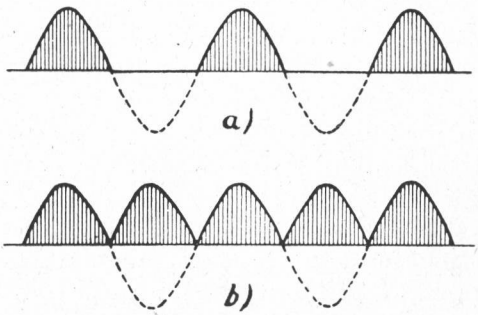


FIG. 78. - Due diverse forme della corrente pulsante: *a*) *ad una sola semionda; b*) *a due semionde.*

Il funzionamento di un diodo come raddrizzatore è molto

semplice. È detto in precedenza (n° 48) che, quando la placca è negativa, gli elettroni sono respinti verso il filamento e la corrente anodica è zero. Se, dunque, realizziamo lo schema di fig. 79, collegando la placca di un dìodo ad un generatore di corrente alternata, il circuito anodico sarà attraversato da impulsi di corrente diretti nello stesso verso e solo durante i semiperiodi in cui la placca è resa positiva rispetto al filamento.

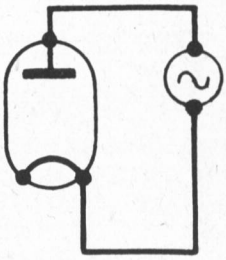


FIG. 79. - La placca del dìodo qui è alimentata con tensione alternata. La corrente anodica passa solo durante i semiperiodi in cui la placca è positiva.

In pratica, lo schema di un raddrizzatore viene realizzato secondo il circuito di fig. 81. Un così detto *trasformatore di alimentazione* T_a fornisce le tensioni necessarie al funzionamento dell'apparecchio. Esso è costituito da un avvolgimento primario P adatto alla tensione della rete di alimentazione e due secondari distinti, uno S_1 a bassa tensione che provvede alla corrente di riscaldamento del càtodo e l'altro S_2 che fornisce la tensione che si vuol raddrizzare. Il circuito di utilizzazione, ad es. una batteria di accumulatori da ricaricare, si dispone tra i morsetti contrassegnati con + e —.

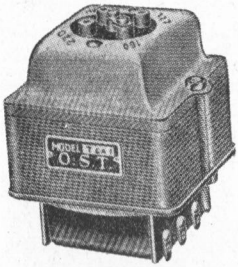


FIG. 80. - Un trasformatore di alimentazione.

Nel caso in cui si desideri raddrizzare entrambe le semionde, si ricorre allo schema di fig. 82 che impiega due dìodi distinti. Il trasformatore di alimentazione fornisce la corrente per riscaldare i càtodi che possono essere collegati in serie o in parallelo tra loro, mentre l'altro secondario S_2 produce la tensione anodica. Questo secondario deve fornire una tensione doppia di quella necessaria e presenta una presa nel punto centrale. Rispetto a questo punto ciascuna placca viene resa una volta positiva e un'altra volta negativa. Quindi le due valvole vengono

a funzionare alternativamente, in modo che una di esse lascia passare l'alternanza positiva e l'altra l'alternanza negativa della corrente.

Invece di adoperare due valvole distinte, se ne può adope-

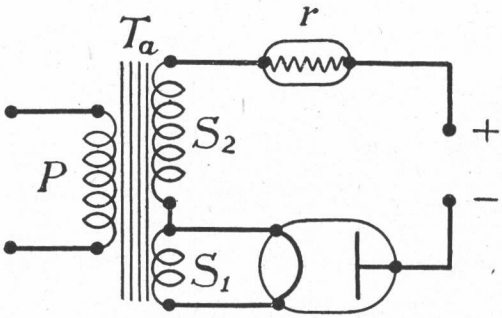


FIG. 81. - Schema di raddrizzatore a una semionda.

rare una sola costituita da un filamento unico e da due placche. Queste valvole, molto usate in pratica, si chiamano *diodi doppi* o *biplacca*.

La corrente pulsante fornita dai raddrizzatori può essere

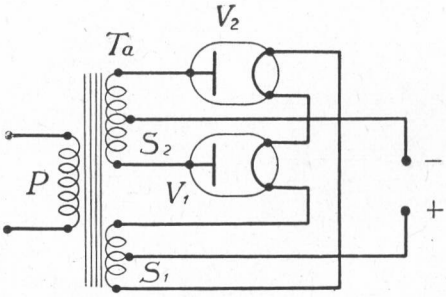


FIG. 82. - Schema di un raddrizzatore a due semionde con due valvole separate.

impiegata per ricaricare batterie di accumulatori, per ottenere depositi elettrolitici e, in generale, in tutti quei casi in cui occorre una corrente unidirezionale, anche se non sia costante.

Quando invece occorra una corrente perfettamente costante,

simile cioè a quella fornita dalle batterie di pile o di accumulatori, si ricorre ai così detti *filtri di livellamento* costituiti da una bobina di elevata induttanza che si dispone in serie al circuito di utilizzazione e un condensatore di grande capacità che si collega in derivazione.

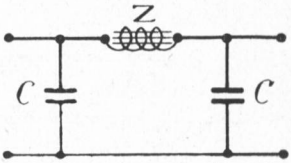


FIG. 83. - Circuito filtro per livellare la corrente pulsante.

Se si osserva il diagramma di una corrente pulsante riferito ad un asse $O'X'$ parallelo all'asse delle ascisse (fig. 84) si deduce che essa può considerarsi come somma di una corrente continua e di una corrente alternata. Ricordiamo che i condensatori costituiscono un blocco per le correnti continue, mentre si lasciano attraversare dalle correnti alternate; invece, le bobine

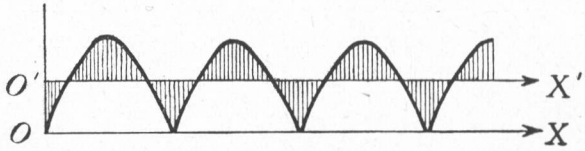


FIG. 84. - Se il diagramma della corrente pulsante viene riferito alla retta $O'X'$, si osserva che questa corrente è la somma di una corrente costante OO' e di una corrente alternata. Il circuito di fig. 83 può operare la separazione di queste due componenti.

d'induttanza oppongono una reattanza notevole alle correnti alternate e si lasciano facilmente attraversare dalle correnti continue. Pertanto, la componente continua non passa attraverso il primo condensatore C, ma passa facilmente attraverso la bobina Z; invece, la componente alternativa viene bloccata dalla bobina e passa attraverso il condensatore.

In conclusione, il circuito di fig. 83 opera un vero e proprio filtraggio, separando due componenti di caratteristiche diverse. Nel circuito esterno viene portata solo la componente continua. Tracce di corrente alternata, che siano ancora presenti a valle della bobina, vengono eliminate a mezzo di un secondo condensatore. Si possono anche collegare due o più filtri l'uno in serie

all'altro, allo scopo di ottenere un livellamento più completo. Lo schema di fig. 85 è quello di un raddrizzatore con valvola a doppia placca, seguito da filtro di livellamento. Può essere

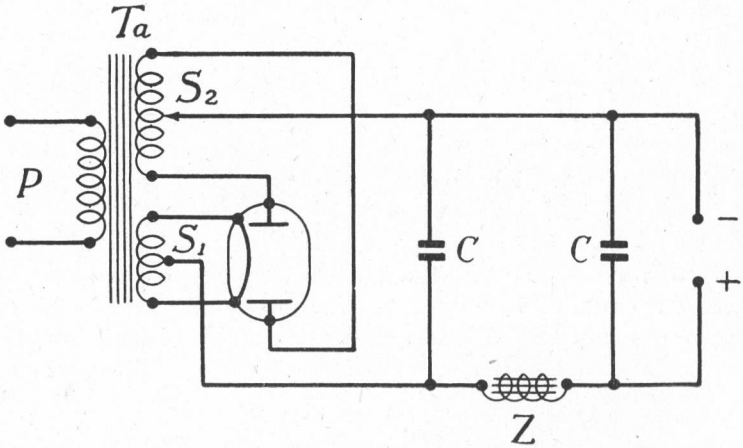


FIG. 85. - Schema di un alimentatore completo di filtro.

aggiunto un *partitore di tensione* del tipo illustrato in fig. 12, per ottenere diversi potenziali di uscita. Gli apparecchi costruiti secondo questo schema prendono il nome di *alimentatori*. Essi sostituiscono le pile e gli accumulatori nell'alimentazione degli apparati radioriceventi. La fig. 86 illustra uno di tali apparecchi.

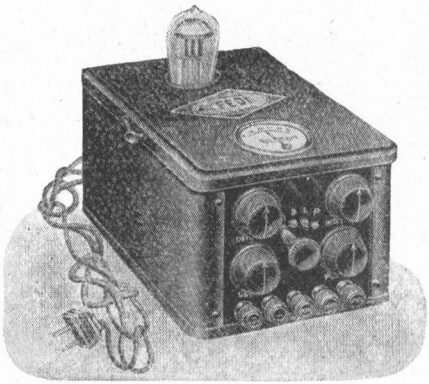


FIG. 86. - Una delle solite forme costruttive degli alimentatori.

52. - Altri tipi di raddrizzatori. — Per raddrizzare la corrente alternata, cioè per trasformarla in corrente unidi-

rezionale pulsante, oltre ai diodi già descritti si usano anche altri dispositivi fondati su principi analoghi o anche su principi diversi. Tra questi, ricorderemo, il raddrizzatore *ad ossido metallico* e quelli *a vapore di mercurio*.

I raddrizzatori ad ossido metallico sono basati sul principio seguente: un disco di rame puro viene ricoperto superficialmente da uno strato sottilissimo di ossido di rame, ottenuto con speciale

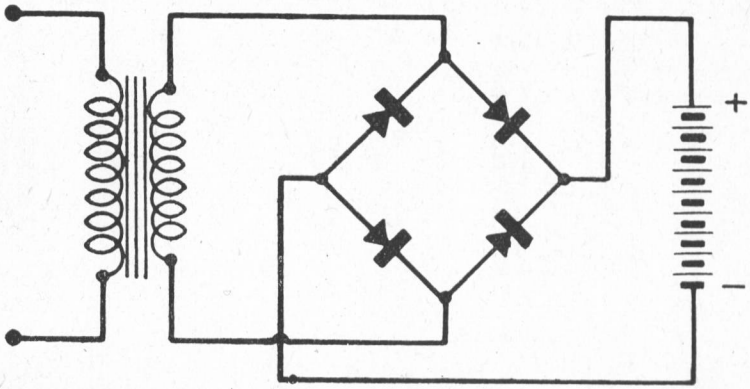


FIG. 87. - Circuito *a ponte* che utilizza quattro raddrizzatori ad ossido metallico.

procedimento; contro questa superficie ossidata poggia un altro disco eguale e i due dischi vengono mantenuti insieme ad una certa pressione. Intercalando questo dispositivo in un circuito, si riscontra che esso presenta conducibilità unilaterale e cioè la corrente può passare solo dall'ossido verso il rame e non in senso contrario, e pertanto si presta al raddrizzamento della corrente alternata.

Le dimensioni dei dischi dipendono dall'intensità della corrente raddrizzata che si desidera ottenere. Con dischi di 50 mm di diametro si può realizzare una corrente di 1,25 ampere. Elevando il carico oltre i limiti consentiti, si provoca un riscaldamento eccessivo dei singoli dischi che si deteriorano e perdono la loro proprietà.

Ogni disco può sopportare una tensione di circa 3 volt. Per tensioni più elevate si riuniscono diversi dischi in serie infilandoli su di un asse metallico ricoperto da un tubo di materiale isolante. I dischi sono serrati da due dadi avvitati agli estremi dell'asse.

Per raddrizzare ambedue le semionde della corrente alternata

si realizza uno speciale collegamento detto *a ponte*, ottenuto con quattro raddrizzatori disposti come è indicato nello schema di fig. 87, in modo che ne funzionino due per volta in serie.

Risultati migliori, soprattutto per quanto riguarda la durata e il rendimento, si ottengono con i raddrizzatori ad ossido di selenio.

I raddrizzatori metallici vengono utilizzati in pratica per la ricarica di batterie di accumulatori, per usi elettrochimici e in generale

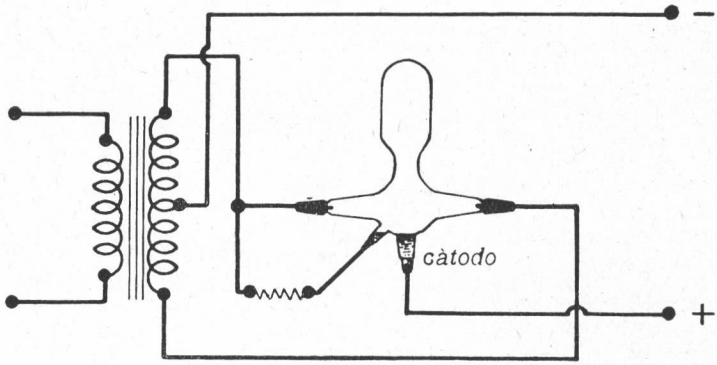


FIG. 88. - Schema di un raddrizzatore a vapori di mercurio.

per piccole installazioni in cui occorrono correnti di pochi ampere e tensioni non molto elevate. Applicazioni industriali molto più importanti si ottengono con i *raddrizzatori a vapore di mercurio*, il cui principio di funzionamento è identico a quello delle ampolle elettroniche.

Tali raddrizzatori sono costituiti da un'ampolla di vetro o anche da un cilindro metallico, in cui a mezzo di pompe, viene realizzato un vuoto elevato. Il raddrizzatore contiene un càtodo di mercurio e uno o più ànodi di metallo o di grafite.

Per mettere in funzione il raddrizzatore, si fa scoccare un arco voltaico tra uno degli ànodi e il mercurio. Nelle piccole ampolle di vetro, ciò si ottiene inclinando leggermente l'ampolla in maniera che per qualche istante il mercurio possa venire a contatto con uno degli ànodi, riportandola poi subito nella posizione verticale. L'arco permane, dopo l'innesco, e l'ampolla si colora in azzurro, per la presenza di vapori di mercurio che si ionizzano (1) per effetto dell'urto di elettroni. Negli apparecchi di potenza maggiore sono

(1) Vedi nota a pag. 64.

predisposti degli ànodi ausiliari che provvedono all'innesco iniziale dell'arco.

Mentre nei dìodi descritti precedentemente gli elettroni sono emessi dal filamento incandescente, nelle ampolle a vapore di mercurio l'emissione elettronica ha origine da una zona, resa fortemente incandescente dall'arco voltaico alla superficie del mercurio e che prende il nome di *macchia catòdica*. Sostanzialmente, però, il modo di funzionare di questi raddrizzatori è lo stesso delle ampolle a càtodo incandescente.

La fig. 88 mostra lo schema di un

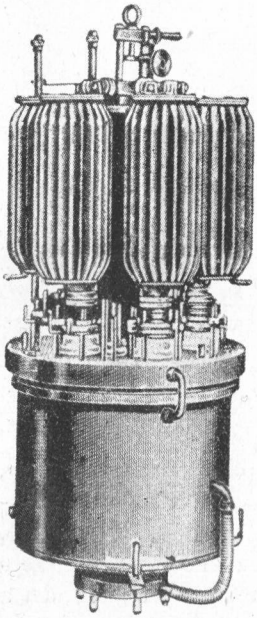


FIG. 89. - Raddrizzatore a vapori di mercurio di grande potenza in cassa metallica.

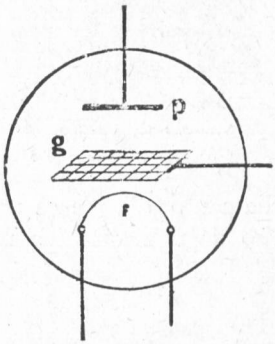


FIG. 90. - Disposizione schematica dei tre elèttrodi di un trìodo: *f* filamento; *g* griglia; *p* placca.

raddrizzatore che impiega un'ampolla a vapori di mercurio a due ànodi, che permette di utilizzare entrambe le semionde della corrente alternata.

Invece, la fig. 89 mostra un raddrizzatore in cassa metallica a sei ànodi con raffreddamento a circolazione di acqua e con pompe per il mantenimento dell'alto vuoto. Con simili apparecchi è possibile ottenere correnti raddrizzate di migliaia di ampere sotto tensioni di alcune decine di migliaia di volt. Tali apparecchi sono particolarmente impiegati per l'alimentazione di reti ferroviarie e tramviarie, per grandi impianti elettrochimici e per il funzionamento di stazioni radiotelegrafiche e radiotelefoniche.

53. - Notizie generali sul trìodo. — Nel 1907 il dottore americano LEE DE FOREST (1), sperimentando sull'ampolla di FLEMING vi apportò una notevole innovazione, introducendo

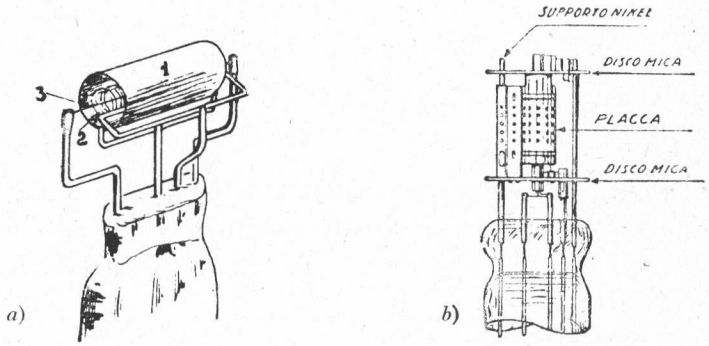


FIG. 91. - Disposizione effettiva dei tre elèttrodi di un trìodo. *A sinistra:* nelle valvole di vecchio modello; *a destra:* nelle valvole moderne.

tra il filamento e la placca un terzo elèttrodo, chiamato *griglia*, costituito da una spiralina metallica, che circonda, senza toccarlo, il càtodo. Si ottenne, così, una nuova valvola termoionica a tre elèttrodi, detta *trìodo* (2).

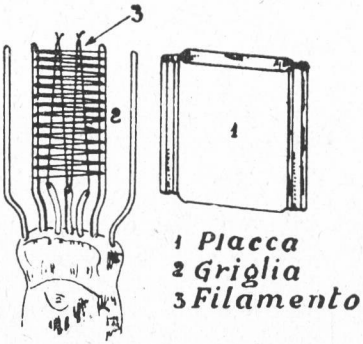


FIG. 92. - Un'altra disposizione dei tre elèttrodi di un trìodo.

La presenza della griglia modifica sostanzialmente le caratteristiche della valvola termoionica e ne estende l'uso ad altri campi. I tecnici americani hanno chiamato la griglia *elèttrodo di controllo:* in effetti, nessun elettrone può passare dal filamento alla placca, senza attraversare

(1) Pronuncia: *Lì de Fòrest.*
(2) Il nome primitivo della valvola a tre elèttrodi fu quello di *audion.*

le maglie della griglia la quale modifica il percorso degli elettroni e ne permette più o meno il passaggio, secondo il potenziale ad essa somministrato.

Per studiare le proprietà del trìodo può essere utilizzato il circuito di fig. 93, che ricorda quello impiegato per il dìodo. V'è soltanto in più il circuito di griglia che fa pure capo al punto *K*, negativo comune.

Nella citata figura vengono presi in esame tre casi:

a) *la griglia ha potenziale zero:* la sua azione sugli elettroni di transito è nulla e la corrente anodica assume lo stesso valore, come se la griglia non vi fosse;

b) *la griglia è resa positiva* a mezzo di una piccola batteria di pile: si osserva un notevole aumento di corrente anodica. Infatti, la tensione positiva applicata alla griglia, per quanto molto bassa, dirada la carica spaziale intorno al filamento e contribuisce insieme alla placca ad attirare gli elettroni;

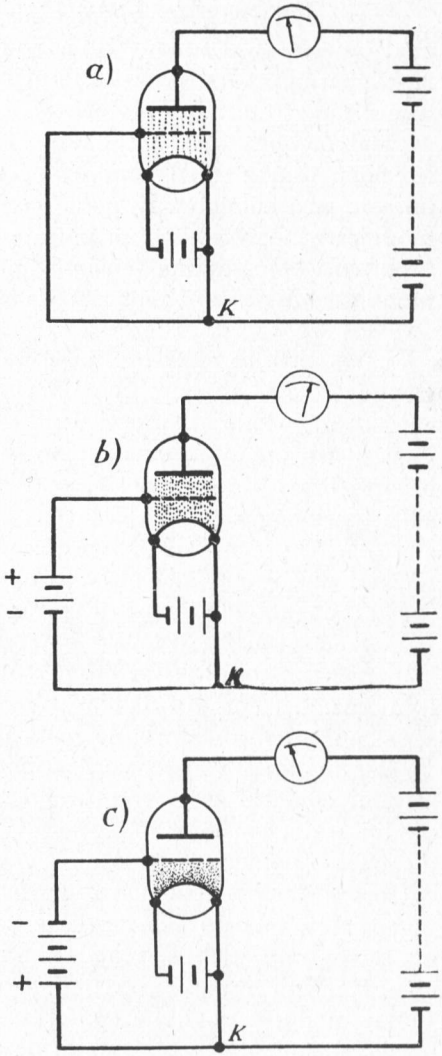


FIG. 93. - In *a*), griglia a potenziale zero: nessuna azione sul flusso elettronico. In *b*), griglia positiva: forte aumento del flusso elettronico. In *c*), griglia fortemente negativa: flusso elettronico nullo.

c) se, invece, *la griglia viene caricata negativamente*, gli elettroni emessi dal filamento sono respinti e non passano oltre la griglia, oppure passano in numero ridotto. La corrente anodica è nulla o è molto piccola.

Nel complesso, la griglia disimpegna nel trìodo la stessa funzione di una valvola che regola l'efflusso di acqua o di vapore in una condotta. E, come con uno sforzo minimo si può modificare notevolmente la portata del fluido che attraversa un tubo, così con minime tensioni applicate alla griglia, si può modificare di molto l'intensità della corrente anodica.

54. - Studio sperimentale del comportamento di un trìodo. — Per studiare come variano le correnti nei vari circuiti di un trìodo al variare delle tensioni applicate, giova servirsi di un circuito come quello indicato nella fig. 94. E qui occorre osservare che, nel caso di un trìodo, si può agire sia sulla tensione applicata alla griglia e sia sulla tensione applicata alla placca, potendosi conseguire nell'uno o nell'altro caso variazioni di corrente nel circuito anodico.

Esaminando lo schema di fig. 94 si osserva che il voltometro V_a serve a misurare la tensione anodica; il milliamperometro I_a la corrente anodica; il voltometro V_g la tensione di griglia; il microamperometro I_g la corrente di griglia. L'amperometro I_f serve poi a controllare la corrente di accensione del filamento.

Per modificare la tensione applicata alla placca, basta spostare il contatto scorrevole lungo la batteria B_a. Invece, per modificare la tensione applicata alla griglia, serve il particolare dispositivo potenziometrico incluso nel circuito di griglia. Se il cursore *c* del potenziometro si trova esattamente al centro, il potenziale applicato alla griglia è zero; mentre tale potenziale è positivo o negativo, a seconda che il cursore del potenziometro viene portato verso l'uno o l'altro estremo della resistenza. In tal modo, è possibile conferire alla griglia del trìodo una tensione gradualmente variabile da un massimo negativo a un massimo positivo. È necessario che il voltometro V_g sia del tipo a zero centrale oppure occorre invertire gli attacchi quando si passa dalla tensione negativa alla tensione positiva.

Servendosi di questo circuito, è possibile mettere in evi-

denza una importante proprietà della valvola a tre elèttrodi: *piccole variazioni della tensione di griglia provocano notevoli variazioni della corrente anodica.* In questo consiste l'*effetto amplificatore* del trìodo.

Ma il circuito di fig. 94 riesce particolarmente utile, perchè permette di procedere ad uno studio sistematico del funziona-

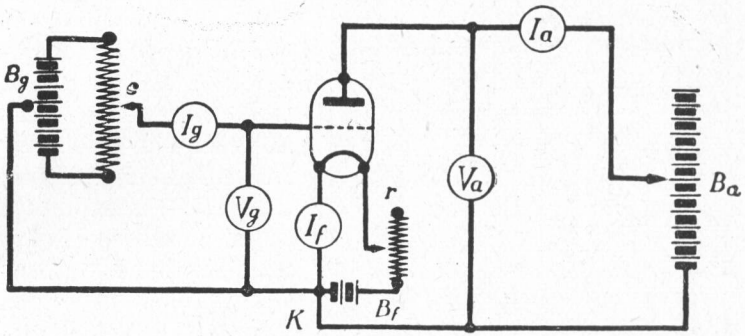


FIG. 94. - Schema fondamentale per lo studio del comportamento di un trìodo.

mento della valvola a tre elèttrodi, così come ci siamo serviti del circuito di fig. 74 per renderci conto delle proprietà del dìodo. E a tale scopo potremo ricavare tre diverse famiglie di curve caratteristiche, e cioè:

a) *caratteristiche anodiche* le quali rappresentano graficamente come varia la corrente anodica della valvola al variare della tensione anodica. Per ricavare queste curve, si fissa ad un determinato valore costante la tensione di griglia, indi si fa variare la tensione anodica da zero ad un massimo (includendo due o tre pilette per volta della batteria B_a) e si misura la corrispondente corrente anodica. Si disegna, poi, una curva riportando in ascisse le tensioni anodiche e in ordinate le relative correnti. Di queste curve se ne possono ricavare altre per valori diversi della tensione di griglia e, nel loro insieme, esse si presentano come in fig. 95.

b) *Caratteristiche di griglia* le quali mostrano come varia la corrente nel circuito di griglia al variare della tensione applicata alla griglia, lasciando inalterata la tensione di placca.

Si osservi, innanzi tutto, che se la griglia è negativa non vi può essere corrente di griglia perchè nessun elettrone può essere attirato e portato in circuito. La corrente compare solo con griglia positiva ed è sempre di piccola intensità, raggiungendo, di solito, valori di qualche milliampere.

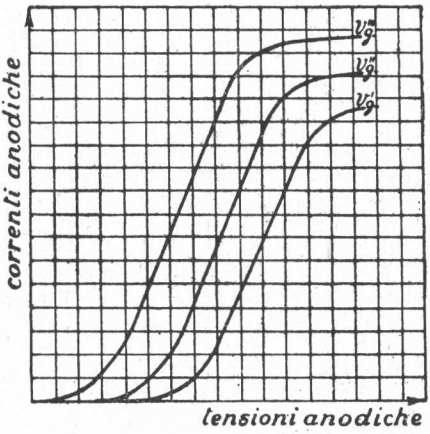


FIG. 95. - Famiglia di caratteristiche anodiche di un trìodo.

Per ricavare una caratteristica di griglia, si fissa un valore qualsiasi della tensione anodica e poi si porta il cursore *c* del potenziometro al centro (tensione di griglia zero). La corrente di griglia è nulla. Poi si sposta gradatamente il cursore verso l'estremo, in modo che la griglia assuma tensioni positive crescenti e si legge la corrente al microamperometro I_g. Si disegna la curva, portando V_g in ascisse e I_g in ordinate.

Le altre curve della famiglia si ricavano, poi, assegnando di volta in volta alla placca della valvola tensioni differenti.

c) *Caratteristiche mutue.* Queste sono le curve più importanti, sotto molti aspetti. Esse mostrano come varia la cor-

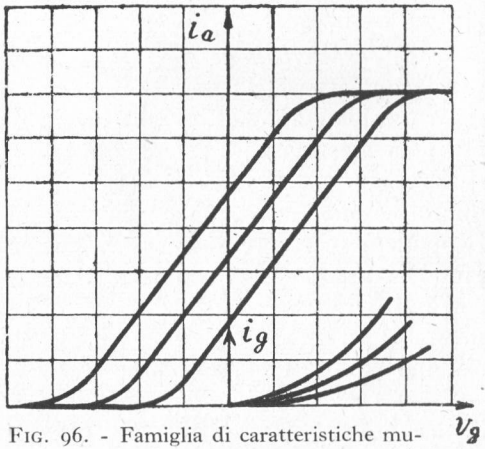


FIG. 96. - Famiglia di caratteristiche mutue e di griglia.

rente anodica della valvola al variare della tensione di griglia, lasciando inalterata la tensione anodica. Insomma, queste curve mettono in evidenza l'effetto che la griglia esercita sul circuito anodico.

Per ricavare le caratteristiche mutue si opera nel modo seguente. Si fissa la tensione anodica ad un valore qualunque, e poi, spostando il cursore *c*, si fa variare gradualmente la tensione di griglia dal massimo valore negativo al massimo valore positivo. Si legge, in corrispondenza, la corrente anodica. Si disegna una prima curva portando V_g in ascisse e I_a in ordinate. Si possono ricavare altre curve della famiglia, applicando alla placca valori diversi della tensione anodica.

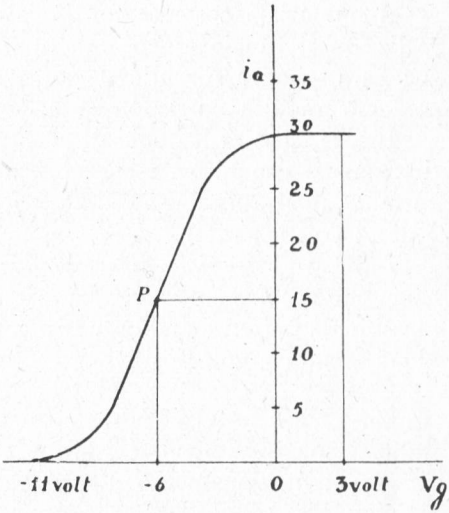


FIG. 97. - Come si stabilisce il *punto di funzionamento* della valvola in base all'esame della sua curva caratteristica.

Le caratteristiche mutue hanno l'andamento segnato nella figura 96. Ai potenziali anodici più elevati corrispondono curve spostate verso sinistra nella figura.

55. - Potenziale di riposo, d'interdizione e di saturazione. — In fig. 97 è illustrata una delle caratteristiche mutue di una valvola a tre elèttrodi. Spesso si dice in pratica: *far funzionare la valvola nel tale punto della sua caratteristica.* Quale è l'esatto significato di questa frase? Se *P* è il punto prescelto, occorre dare alla placca la tensione cui si riferisce la caratteristica considerata (poniamo, ad es. 250 volt), e alla griglia, la tensione che risulta dall'ascissa del punto *P* (nel caso della

figura, 6 volt negativi). La corrente anodica dovrà risultare senz'altro dall'ordinata del punto P (15 milliampere).

L'utilità che deriva dall'uso delle curve caratteristiche consiste appunto nel poter prevedere quale sarà la corrente anodica erogata dalla valvola, per ogni valore di tensione di placca e di tensione di griglia.

Il potenziale costante fornito alla griglia della valvola per realizzare il funzionamento in un determinato punto P della sua caratteristica, prende il nome di *potenziale di riposo;* la corrente anodica corrispondente, si chiama *corrente di riposo.*

Invece, si darà il nome di *potenziale d'interdizione* al valore di tensione che bisogna conferire alla griglia per annullare la corrente anodica (nel caso di fig. 97, il potenziale d'interdizione è di 11 volt negativi).

Infine il *potenziale di saturazione* misura il valore di tensione che occorre conferire alla griglia della valvola per rendere massima la corrente anodica. In fig. 97, il potenziale di saturazione misura 3 volt positivi.

56. - Parametri caratteristici di un trìodo. — Vengono indicati con questo nome i seguenti tre elementi che caratterizzano il funzionamento di una valvola.

a) *Resistenza anodica differenziale*, di solito detta *resistenza interna*, che ha lo stesso significato dato a n° 49 alla resistenza del dìodo e che viene definita come *rapporto tra una variazione di tensione anodica e la corrispondente variazione di corrente anodica, fermo restando il valore della tensione di griglia.* Avremo, cioè:

$$R_a = \frac{V'_a - V''_a}{I'_a - I''_a} \qquad \text{(per } V_g \text{ costante).} \qquad [2]$$

b) *Fattore di amplificazione.* Al n° 54 è messa in rilievo la proprietà fondamentale di un trìodo di dar luogo a notevoli variazioni della corrente anodica con piccole variazioni della tensione di griglia. Più esattamente si potrebbe osservare che le variazioni di corrente anodica ottenute con una certa variazione di tensione di griglia sono più sensibili di quelle che si potrebbero ottenere con eguale variazione della tensione anodica.

Valga il seguente esempio. Le condizioni iniziali di funzionamento di un trìodo siano:

Tensione anodica	$V'_a = 250$ *volt*
Tensione di griglia	$V'_g = 3$ *volt*
Corrente anodica	$I'_a = 15$ *milliampere.*

Si modifichi ora la tensione anodica portandola, ad esempio, da 250 a 200 volt e si lasci costante la tensione di griglia. Supponiamo che la corrente anodica si riduca conseguentemente a 10 milliampere. Le condizioni di funzionamento della valvola ora sono:

Tensione anodica	$V''_a = 200$ *volt*
Tensione di griglia	$V'_g = 3$ *volt*
Corrente anodica	$I''_a = 10$ *milliampere.*

Si deduce che una variazione di tensione anodica $V'_a - V''_a = 250 - 200 = 50$ volt ha dato luogo ad una variazione $I'_a - I''_a = 15 - 10 = 5$ milliampere di corrente anodica.

Si modifichi ora la tensione di griglia, avendo cura di riportare la tensione anodica al valore iniziale di 250 volt, sino a che la corrente anodica risulti pure di 10 milliampere, e supponiamo che tale tensione di griglia debba ridursi a 1 volt. Le nuove condizioni di funzionamento della valvola saranno:

Tensione anodica	$V'_a = 250$ *volt*
Tensione di griglia	$V''_g = 1$ *volt*
Corrente anodica	$I''_a = 10$ *milliampere.*

La variazione di tensione di griglia è stata $V'_g - V''_g = 3 - 1 = 2$ volt.

In conclusione, nella valvola in esame, si ottiene la stessa variazione di corrente anodica sia modificando di 50 volt la tensione di placca e sia modificando di 2 volt la tensione di griglia. Insomma, la griglia ha in questa valvola un'azione 25 volte più energica della placca e perciò diremo che il suo fattore di amplificazione è 25.

Tale fattore di amplificazione è definito *dal rapporto tra la variazione di tensione anodica e quella variazione della tensione*

di griglia che siano capaci di produrre la stessa variazione di corrente anodica e viene solitamente indicato col simbolo μ (1).

Scriveremo:

$$\mu = \frac{V'_a - V''_a}{V'_g - V''_g} \qquad (\text{per } I'_a - I''_a = \text{cost.}). \qquad [3]$$

c) *Conduttanza mutua o pendenza.* Questo parametro mette bene in evidenza l'azione che la griglia esercita nel funzionamento della valvola, nel senso che esso misura la variazione di corrente anodica che si viene a realizzare, quando si fa variare di 1 volt la tensione di griglia. Riferendosi allo stesso esempio della valvola già considerata, si deduce che per una variazione

$$V'_g - V''_g = 3 - 1 = 2 \text{ volt}$$

della tensione di griglia, si riesce ad ottenere una variazione

$$I'_a - I''_a = 15 - 10 = 5 \text{ milliampere}$$

di corrente anodica. Pertanto la variazione di corrente anodica che corrisponde ad 1 volt di variazione di tensione di griglia è di $5/2 = 2{,}5$ milliampere. Indicando col simbolo g_m tale conduttanza mutua, essa è definita dal rapporto

$$g_m = \frac{I'_a - I''_a}{V'_g - V''_g} \qquad (\text{per } V_a = \text{cost.}). \qquad [4]$$

Come si vede dall'espressione scritta, la grandezza g_m è reciproca di una resistenza (e, infatti, è il rapporto tra una corrente e una tensione, mentre la resistenza è il rapporto tra una tensione e una corrente). Pertanto la sua unità di misura è quella della conduttanza, cioè il *siemens*, ma più spesso, viene espressa in *milliampere per volt*.

In pratica, la conduttanza si chiama anche *pendenza*, denominazione molto efficace giustificata dalla considerazione che quanto maggiore è la conduttanza tanto più la curva è inclinata rispetto all'asse delle ascisse.

(1) Lettera dell'alfabeto greco, corrispondente alla nostra *m*. Leggi: *mü*.

Spesso, nei Manuali tecnici, si parla di un quarto parametro delle valvole e cioè l'*intraeffetto D*, reciproco del fattore di amplificazione. Esso esprime in quale misura una variazione di tensione anodica influisce sulla corrente anodica del trìodo, in rapporto ad una determinata variazione della tensione di griglia. Nel caso già riportato di $\mu = 25$, sarà $D = 1/25$ cioè del 4%. Questo significa che, nella valvola in esame, una certa variazione della tensione anodica influisce come una variazione del solo 4% della tensione di griglia.

57. - Relazione fondamentale tra i parametri di un trìodo. — Si moltiplichi la (2) per la (4) del paragrafo precedente, eliminando a numeratore e denominatore i termini simili. Avremo:

$$\frac{V'_a - V''_a}{I'_a - I''_a} \cdot \frac{I'_a - I''_a}{V'_g - V''_g} = \frac{V'_a - V''_a}{V'_g - V''_g}$$

e cioè, questo prodotto si riduce alla (3). Pertanto, potremo scrivere:

$$R_a \cdot g_m = \mu \qquad [5]$$

che è nota sotto il nome di *espressione di* BARKHAUSEN e vuol significare che il fattore di amplificazione di un trìodo si ottiene moltiplicando la sua resistenza interna per la conduttanza mutua. Quindi, elevate amplificazioni si ottengono con valvole a grande resistenza interna.

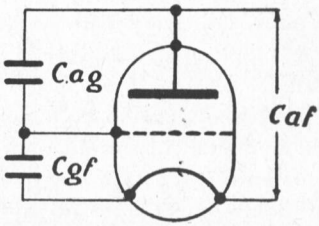


FIG. 98. - Le capacità interelettrodiche producono lo stesso effetto di condensatori inseriti tra elèttrodo e elèttrodo.

58. - Capacità interelettrodiche. — I tre elèttrodi di un trìodo, filamento, griglia e placca, si possono considerare a due a due, come le armature di un condensatore. Tra questi elèttrodi si viene perciò a formare una certa capacità che prende il nome di *capacità interelettrodica*, o capacità interna della valvola.

In altri termini, si può supporre che tra la placca e la griglia e tra questa e il filamento siano inseriti dei condensatori di piccola capacità: C_{ag}, C_{af}, C_{gf} rispettivamente indicati con la denominazione di capacità ànodo-griglia, ànodo-filamento e griglia-filamento. In generale, in un trìodo ricevente, tali capacità sono dell'ordine di 10 picofarad.

Questa capacità è, in certi casi, dannosa e spesso bisogna ricorrere a particolari sistemi per neutralizzarla (1).

59. - Impieghi pratici dei trìodi. — I trìodi sono usati negli apparati di ricezione e di trasmissione, negli impianti di amplificazione, nella telefonia ordinaria a grande distanza, nella incisione dei dischi, nella cinematografia sonora e in televisione.

Comunque, pur essendo numerosissime le applicazioni pratiche, le funzioni fondamentali che esso può disimpegnare sono tre: come *oscillatore*, come *amplificatore* e come *rivelatore* delle onde elettromagnetiche.

Diremo nei capitoli seguenti come il trìodo possa essere utilizzato nei modi anzidetti.

60. - Valvole a riscaldamento indiretto del càtodo. — Nelle valvole descritte, il filamento emette direttamente gli elettroni: queste valvole si chiamano, perciò, *a riscaldamento diretto*. Ma, tali valvole non possono essere impiegate negli apparecchi moderni che sono alimentati con la corrente alternata dell'ordinaria rete d'illuminazione. Infatti, quando il filamento è riscaldato con corrente alternata, l'emissione elettronica non ha più luogo con continuità, sia perchè, essendo variabile la corrente di accensione, la temperatura del filamento non è costante e sia per l'azione diretta del campo elettromagnetico che si genera intorno al filamento sugli elettroni emessi dal filamento stesso. La conseguenza di tutto ciò è che la corrente anodica della valvola non è costante ma varia secondo l'andamento e con la frequenza della corrente alternata che alimenta il filamento. Si produce, allora, nell'altoparlante, un ronzio intollerabile che rende impossibile ogni altra ricezione acustica.

(1) Vedi n° 78 a pag. 139.

È per questo, che attualmente vengono impiegati altri tipi di valvole dette *a riscaldamento indiretto del càtodo.*

I càtodi di queste valvole sono costituiti da un cilindretto di poco più di 1 mm di diametro, di materiale refrattario, nel cui interno è contenuto il filamento riscaldatore di tungsteno. Esternamente, è infilato un tubicino di nichelio ricoperto da ossido di torio. Quando il filamento è attraversato da corrente, il tubicino si riscalda a temperatura costante ed emette elettroni con continuità.

In queste valvole, il filamento riscaldatore è del tutto separato dal càtodo che emette gli elettroni. La fig. 100 indica il simbolo grafico di un trìodo a riscaldamento indiretto.

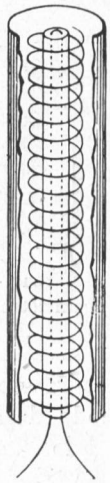


FIG. 99. - Disposizione degli elèttrodi in una valvola a riscaldamento indiretto.

61. - Altri tipi di valvole termoioniche. — Notevoli vantaggi si conseguono includendo opportunamente in un'ampolla elettronica, altri elèttrodi oltre alla griglia e alla placca. Si ottengono così valvole a molti elèttrodi, dotate di particolari proprietà e che permettono di conseguire amplificazioni molto elevate.

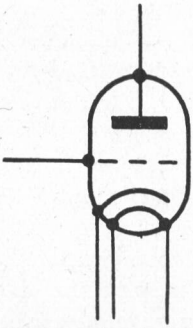


FIG. 100. - Simbolo grafico del trìodo a riscaldamento indiretto.

Le valvole termoioniche con quattro elèttrodi si chiamano *tètrodi;* quelle con cinque elèttrodi *pèntodi;* e si chiamano *èsodi*, *èptodi* e *òttodi* quelle che hanno rispettivamente sei, sette o otto elèttrodi.

I tètrodi possono essere di tre tipi diversi:

a) *Valvole bigriglia* che sono costituite da un càtodo, una placca e due griglie di controllo, a ciascuna delle quali si può applicare una tensione diversa, allo scopo di regolare separatamente il flusso elettronico.

b) *Valvole a griglia anticarica* nelle quali una delle griglie,

quella più vicina al filamento, serve per sopprimere o, per lo meno, ridurre la carica spaziale. A tale scopo la griglia antica-

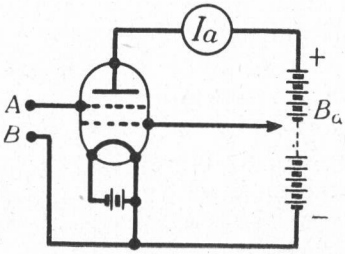


FIG. 101. - Schema d'inserzione di un tètrodo a griglia anticarica.

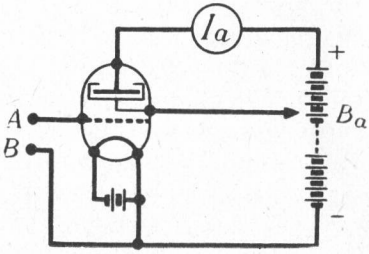


FIG. 102. - Schema d'inserzione di un tètrodo a griglia schermo.

rica riceve potenziale positivo dalla stessa batteria anodica, in modo da attirare la maggior parte degli elettroni che, permanendo intorno al filamento, dànno luogo alla carica di spazio. In queste valvole, si nota che la resistenza interna è minore di quella dei tròdi comuni.

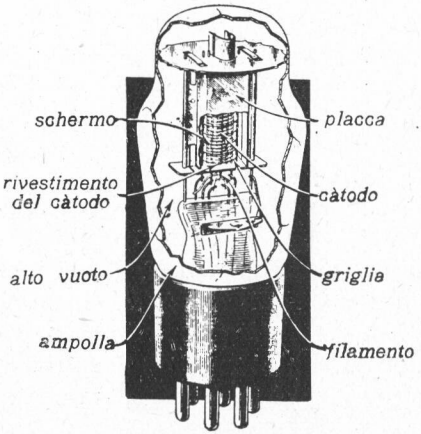


FIG. 103. - Struttura interna di una moderna valvola in vetro.

Pertanto il potenziale anodico che si richiede per il normale funzionamento dell'ampolla risulta molto ridotto (bastano, in alcuni tipi di valvole, una decina di volt alla placca e 6-7 volt alla griglia anticarica). In compenso, il coefficiente di amplificazione e la pendenza della valvola sono minori di quelli che si riscontrano nei tròdi ordinari.

Questo tipo di ampolla oggi è raramente impiegato. Trova qualche applicazione negli apparati portatili alimentati con pile,

appunto perchè si possono usare piccole batterie, di ingombro e peso ridotto.

La valvola viene impiegata secondo lo schema di fig. 101.

c) *Valvole a griglia schermo*, nelle quali la griglia più vicina al filamento serve per il controllo del flusso elettronico, mentre quella esterna, disposta tra la griglia di controllo e la placca, serve per creare uno schermo tra questi due elèttrodi allo scopo di annullare la capacità che si viene a formare tra essi, come è detto al n° 58. A tale scopo, la griglia schermante è a maglie molto fitte o addirittura è costituita da una reticella metallica e deve essere tenuta a potenziale costante, collegandola ad un punto intermedio della batteria anodica.

Le valvole schermate presentano un coefficiente di amplificazione molto elevato, che in qualche caso raggiunge le mille unità. La resistenza anodica è pure molto elevata e spesso raggiunge o anche supera un milione di ohm.

In fig. 104 sono indicate le caratteristiche anodiche di un tètrodo schermato, il cui andamento permette di mettere in evidenza alcuni fenomeni assai interessanti.

Si osservi che la corrente anodica non è zero per $V_a = 0$; infatti, anche in assenza di potenziale anodico, alcuni elettroni, accelerati del potenziale positivo dello schermo, ne oltrepassano le maglie per inerzia e raggiungono la placca. Al crescere della tensione anodica, la corrente anodica dapprima aumenta, ma poi diminuisce sensibilmente. Infatti, gli elettroni emessi dal filamento, dopo aver attraversato la griglia controllo, entrano nel campo di azione della griglia schermo e, poichè questa è caricata positivamente, sono fortemente accelerati e perciò cadono sulla placca con notevole velocità, provocando l'emissione di elettroni *secondari* (vedi n° 47). Questi sono allora attirati dallo schermo e danno luogo ad una corrente *inversa*, vale a dire ad un movimento di elettroni che procede in senso contrario a quello degli elettroni primari.

Gli elettroni secondari che passano dalla placca allo schermo sono in numero maggiore di quelli primari che ad essa pervengono dal filamento. Dunque, la placca perde più elettroni di quanti ne riceva: la corrente anodica diminuisce e va ad incrementare quella di griglia schermo.

Il fenomeno della corrente inversa si manifesta solo quando la tensione anodica è minore della tensione applicata allo schermo. Quando, poi, la tensione anodica eguaglia quella dello schermo, gli elettroni secondari vengono riassorbiti dalla stessa placca che li ha emessi: la corrente inversa scompare e la corrente anodica aumenta di nuovo, come appunto si desume dall'andamento delle caratteristiche di fig. 104.

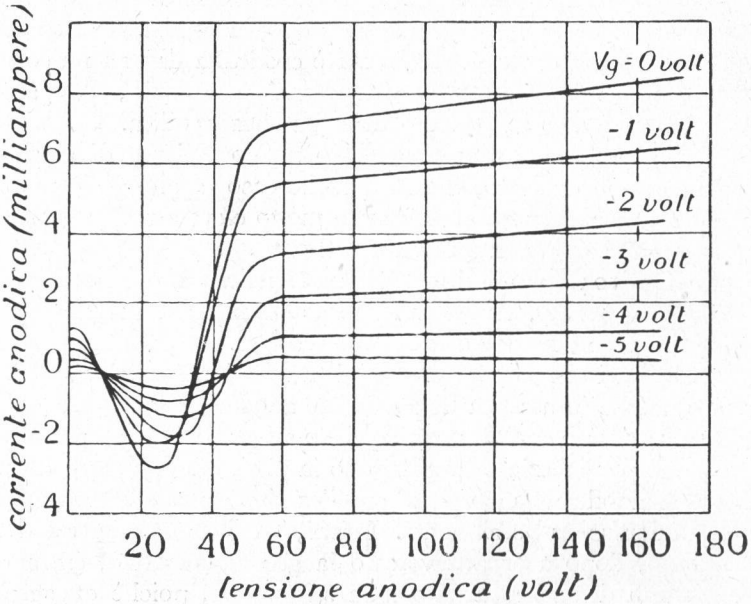


FIG. 104. - Curve caratteristiche di un tètrodo schermato.

Per evitare l'emissione secondaria da parte della placca e la corrispondente corrente inversa prodotta dall'azione acceleratrice dello schermo, fu introdotto in seguito un altro elèttrodo cui fu dato il nome di *griglia di soppressione*. Si tratta di un'altra spiralina interposta tra la griglia schermo e la placca e che viene connessa al càtodo in modo da assumerne lo stesso potenziale. La presenza di questa terza griglia riduce il potenziale di tutti i punti tra la griglia schermo e la placca.

Gli elettroni primari, fortemente accelerati per azione del

potenziale positivo dello schermo riescono a superare la griglia di soppressione e a raggiungere la placca, a causa della notevole velocità da cui sono animati; invece, gli elettroni secondari, essendo dotati di velocità minore, vengono respinti dalla griglia di soppressione e ricadono sulla placca che li ha emessi. La stessa griglia di soppressione adempie anche alla funzione di rallentare gli elettroni primari, così da ridurre l'emissione secondaria provocata dall'urto degli elettroni stessi sulla placca.

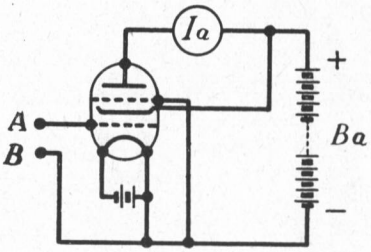


FIG. 105. - Schema d'inserzione di un pèntodo.

Le valvole così realizzate si chiamano *pèntodi* (cioè, a cinque elèttrodi) e le loro caratteristiche non hanno più l'andamento indicato in fig. 104, poi-

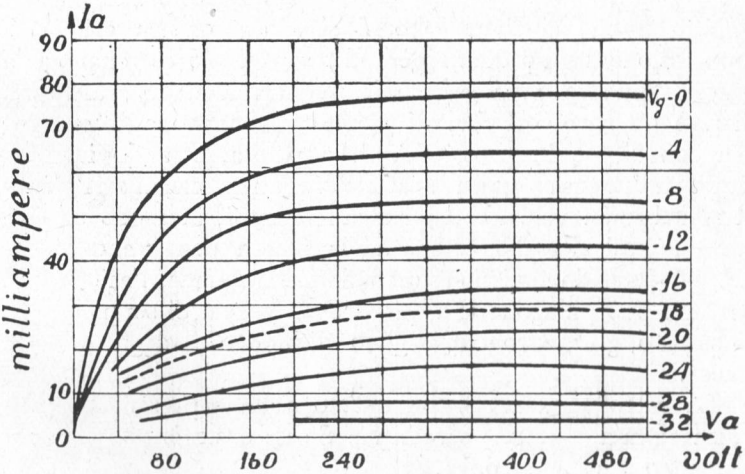


FIG. 106. - Curve caratteristiche di un pèntodo.

chè la corrente anodica, non più influenzata dalla corrente inversa, aumenta in ogni caso al crescere della tensione anodica sino alla saturazione, come risulta dal diagramma di fig. 106.

La soppressione della corrente inversa si consegue poi con un sistema del tutto differente nelle valvole dette *a fascio elettronico*, nelle quali le traiettorie degli elettroni sono opportunamente deviate per ottenere questo scopo.

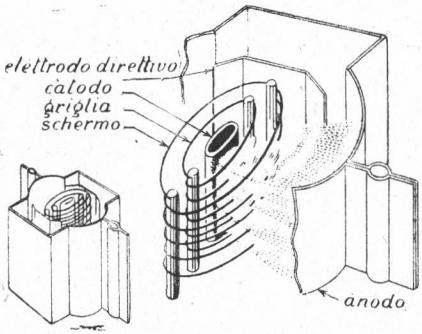


FIG. 107. - Struttura interna delle moderne valvole a fascio elettronico.

La fig. 107 illustra il principio costruttivo di un tètrodo a fascio elettronico. Il càtodo è a sezione ovale, in modo che gli elettroni uscenti dalle due facce di più grande superficie siano in numero elevato. Di fronte alle parti più curve del càtodo, al di là della griglia schermo, sono disposte due placche metalliche che si connettono al càtodo (come la griglia di soppressione degli ordinari pèntodi) e pertanto esercitano una azione repulsiva sugli elettroni, modificandone le traiettorie. Si può ottenere così che tali traiettorie vengano a incontrarsi e a convergere in prossimità della placca, creando in quel punto un'intensa carica spaziale negativa che ha l'effetto di ritardare la velocità degli altri elettroni, in modo da evitare che essi possano cadere sulla placca con grande velocità, producendo emissione secondaria. Insomma, l'azione così ottenuta può paragonarsi a quella della griglia di soppressione. In seguito, gli elettroni divergono di nuovo e raggiungono la placca.

Le valvole realizzate con questo sistema presentano pendenza elevata e grande sensibilità. Se ne costruiscono a due e a quattro fasci elettronici.

62. - Valvole multiple. — Si tratta di valvole termoioniche che in una sola ampolla racchiudono due o più sistemi elettronici, del tipo descritto precedentemente, ai quali si possono affidare funzioni diverse. È possibile, così ridurre il numero

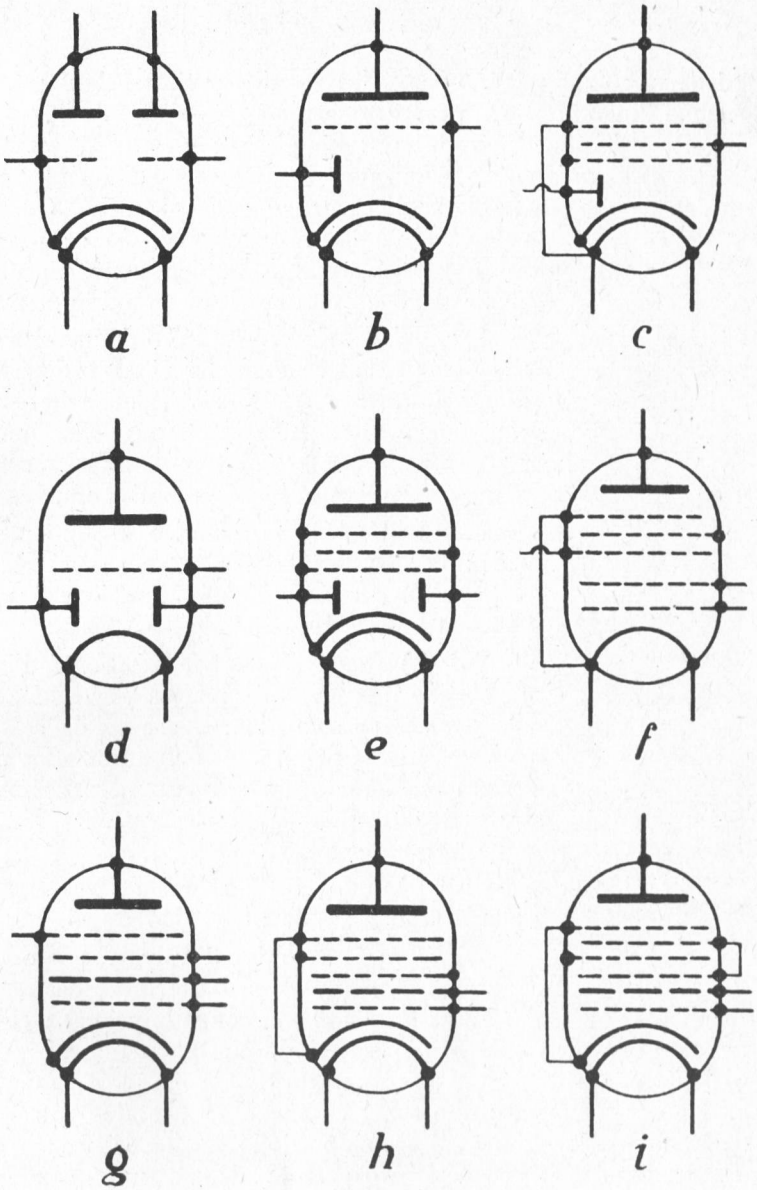


FIG. 108. - Esempi diversi di valvole multiple: *a*) Doppio trìodo; *b*) Dìodo-trìodo; *c*) Dìodo-pèntodo; *d*) Doppio dìodo-trìodo; *e*) Doppio dìodo-pèntodo; *f*) Trìodo-pèntodo; *g*) èsodo; *h*) pentagriglia; *i*) òttodo.

delle valvole che fanno parte di un radioricevitore, diminuendo anche l'ingombro e il peso di questo.

Ricorderemo tra i tipi più importanti:

a) *Doppio trìodo*, che comporta un unico filamento, un unico càtodo, due griglie di controllo e due placche. Questa valvola si comporta come due trìodi separati ed è particolarmente impiegata nello stadio finale degli amplificatori di grande potenza.

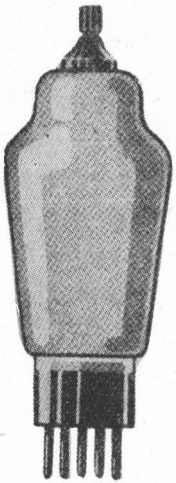


FIG. 109. - Aspetto di un pèntodo europeo, con placca collegata al cappuccetto superiore.

b) *Dìodo-trìodo*, costituito da un càtodo unico e una placchetta che viene ordinariamente impiegata per la rivelazione di onde elettromagnetiche; una griglia e una seconda placca costituiscono il trìodo che viene solitamente impiegato come amplificatore.

c) *Dìodo-pèntodo*, identico al tipo precedente con la sola differenza che il sistema elettronico destinato all'amplificazione è un pèntodo invece di un trìodo.

d) - *e*) *Doppio dìodo-trìodo* e *doppio dìodo-pèntodo* nei quali le placchette destinate alla rivelazione sono due, e la seconda serve particolarmente per il controllo automatico di sensibilità, come sarà spiegato nel capitolo descrittivo degli apparati riceventi.

f) *Trìodo-pèntodo*, costituito da un trìodo e da un pèntodo racchiusi nella stessa ampolla e alimentati da un càtodo unico.

g) *Èsodo*. Questo tipo di valvola comporta un sol càtodo, una griglia e una placca forata (che, costruttivamente, è anch'essa una griglia che circonda la prima) e che nel loro insieme costituiscono un trìodo che ha la funzione di oscillatore. Il flusso elettronico passa attraverso la placca forata e, dopo aver superato uno schermo che separa le due sezioni della valvola, raggiunge il secondo trìodo che ha la funzione di sovrapporre il segnale proveniente dall'antenna, con le oscillazioni create dal primo trìodo. Questo tipo di valvola viene particolarmente impiegato nei ricevitori a cambiamento

di frequenza, ma, negli ultimi anni, è stato sostituito dai tipi più recenti descritti qui di seguito.

h) *Valvola pentagriglia*, anch'essa impiegata negli apparecchi a cambiamento di frequenza. Come la precedente, comporta una sezione oscillatrice e una sezione sovrappositrice. La sezione oscillatrice è costituita da un ordinario trìodo, però la placca è forata per consentire al flusso elettronico di passare oltre e di raggiungere la sezione sovrappositrice.

Quest'ultima è realizzata a mezzo di un tètrodo a griglia schermante. Quindi, nel complesso la valvola comporta un càtodo unico, una griglia controllo e una griglia-ànodo per la sezione oscillatrice; una griglia schermo tra le due sezioni; una griglia di controllo, una griglia schermo e un ànodo per la sezione sovrappositrice.

i) *Òttodo*. Questa è la valvola più moderna impiegata per il cambiamento di frequenza. È identica alla precedente, però contiene in più una sesta griglia in funzione di soppressore. In sostanza, la sezione sovrappositrice, invece di essere un tètrodo è un pèntodo.

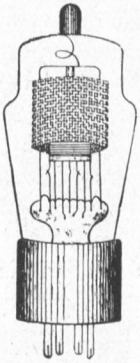


FIG. 110. - Aspetto esterno di un pèntodo americano, con griglia collegata al cappuccetto superiore.

63. - Valvole a pendenza variabile. — Queste ampolle elettroniche risolvono il problema della regolazione automatica di sensibilità. La differenza tra questo tipo di valvola e quello normale, risiede nella speciale forma della griglia di comando. Mentre nelle valvole a pendenza fissa le spire della griglia sono tutte egualmente spaziate, in questo tipo le spire estreme sono più ravvicinate tra loro, mentre quelle centrali sono più distanziate.

Quando la griglia riceve un potenziale di riposo relativamente basso, la valvola si comporta come qualsiasi altra a pendenza costante, ossia la griglia regola l'intero flusso elettronico. Se, invece, il potenziale negativo di riposo viene aumentato, le spire estreme della griglia, che sono più vicine tra loro, respingono parzialmente o totalmente gli elettroni che giungono dal

càtodo, mentre le spire centrali, che sono più distanziate, lasciano passare un maggior numero di elettroni.

In altri termini, una valvola a pendenza variabile si comporta come un sistema di più valvole di eguale struttura e differenti solo nelle griglie, collegate in parallelo (e cioè griglie riunite insieme e placche pure collegate tra loro). Variando il potenziale di riposo applicato al sistema, il flusso elettronico sarebbe arrestato in alcune valvole (quelle a griglia più serrata), mentre potrebbe transitare attraverso le altre. Invece, con potenziale di riposo molto basso, verrebbe ad essere egualmente utilizzato il flusso elettronico di tutte le valvole.

Poichè le valvole del sistema hanno diversa pendenza e diverso fattore di amplificazione (che dipendono appunto dalla distanza che intercede tra le spire della griglia) si può modificare l'amplificazione ottenibile, regolando il potenziale di riposo della griglia.

È per questo che le valvole a pendenza variabile vengono anche chiamate *a fattore di amplificazione variabile* e, comunemente, *valvole multimu.*

64. - Alcuni dati di funzionamento di valvole per ricezione e trasmissione. — La costruzione delle valvole termoioniche ha registrato in questi ultimi anni, notevoli perfezionamenti che hanno permesso di conseguire sensibilità sempre più elevate, maggiori potenze, coefficienti di amplificazione e pendenza sempre più alti, buona stabilità di funzionamento, consumi ridotti di energia per il riscaldamento dei càtodi e rendimenti migliori.

Per quanto riguarda le valvole riceventi, i tipi fondamentali sono due: valvole con bulbo di vetro (fig. 103) e valvole con ampolla metallica (fig. 111). Le valvole in vetro sono le più usate.

Elèttrodo fondamentale di ogni ampolla termoionica è il càtodo, che oltre a rispondere a particolari requisiti tecnologici, deve consentire la massima emissione elettronica con la minima spesa di energia.

Il tipo di càtodo di più comune impiego nelle valvole riceventi è quello a rivestimento di ossido che consente forti emissioni elettroniche con temperature relativamente basse.

La tensione occorrente per l'alimentazione del càtodo di solito è di pochi volt.

Vi sono valvole a riscaldamento indiretto ad 1 *volt* di accensione,

che trovano impiego nei ricevitori portatili alimentati da una sola pila.

La tensione di 2,5 *volt* fu adottata per una serie importante di valvole di tipo americano per ricevitori con alimentazione a corrente alternata. Questo tipo, però, trova scarso impiego negli apparati più moderni.

Per le valvole di tipo europeo è molto diffusa la tensione di 4 *volt*.

La tensione di filamento a 5 *volt* fu prescelta soprattutto dai costruttori americani per valvole raddrizzatrici a riscaldamento diretto.

La tensione oggi più largamente adottata, sia nelle valvole di tipo americano che europeo, è di 6,3 *volt*. Questo valore di tensione fu inizialmente prescelto perchè consentiva l'uso di una batteria costituita da 3 accumulatori a piombo. In seguito, poi, si trovò conveniente impiegare questo tipo di valvole anche per gli apparecchi alimentati con la corrente alternata.

La tensione di 7,5 *volt* fu usata per qualche valvola raddrizzatrice e per qualche valvola di potenza.

Una serie abbastanza importante di valvole di tipo americano, impiega per il riscaldamento del càtodo la tensione di 12,6 *volt*, che consente l'uso sia della corrente alternata a mezzo di trasformatore riduttore di tensione e sia della corrente continua servendosi di una batteria di accumulatori di sei elementi a piombo in serie.

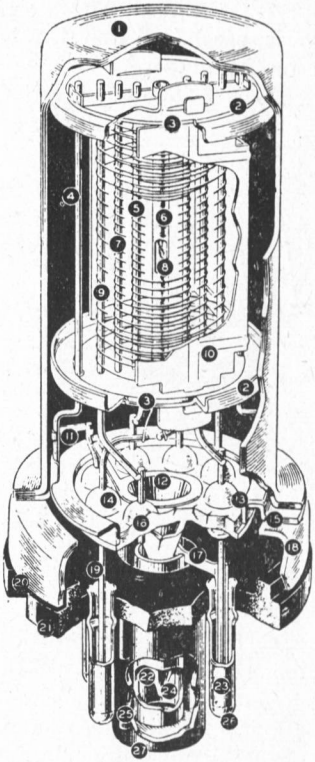


FIG. 111. - Struttura interna di una moderna valvola metallica. Parti principali:

1) Calotta metallica.
5) Griglia controllo.
6) Càtodo.
7) Griglia schermo.
8) Filamento.
9) Griglia di soppressione.
10) Placca.

Infine la tensione di 25 *volt* o tensioni superiori sono impiegate in valvole per apparecchi speciali, senza trasformatore di alimentazione, in cui i filamenti delle diverse ampolle sono collegati tra loro in serie,

L'intensità di corrente richiesta per il riscaldamento dei càtodi, varia, secondo il tipo di valvola, da qualche decimo di ampere sino a circa 2 ampere.

La tensione anodica delle valvole riceventi è compresa tra 50 e 250 volt per le piccole valvole riceventi e si eleva sino a circa 1000 volt per le valvole di potenza. Le correnti anodiche sono comprese tra qualche milliampere, sino ad un centinaio di milliampere per le grandi valvole.

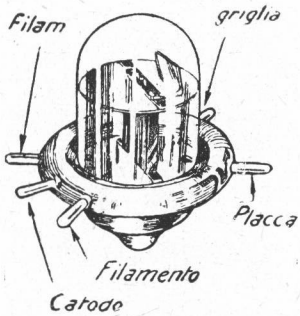


FIG. 112. - La *valvola ghianda*. Serve per generare e ricevere onde ultracorte. Altezza totale: 32 millimetri.

Una delle operazioni più delicate e più importanti nella costruzione di un'ampolla elettronica è la vuotatura del bulbo. Per il buon funzionamento della valvola è necessario un grado di vuoto assai elevato. Ciò si consegue con pompe speciali che consentono di far scendere la pressione dell'aria nell'interno del tubo sino ad un decimilionesimo di millimetro di mercurio.

Durante la vuotatura, le parti metalliche vengono riscaldate mediante correnti indotte provocate da bobine ad alta frequenza, per liberarle da ogni traccia di gas occlusi. Ma anche il vuoto così ottenuto non è sufficientemente spinto; pertanto nell'interno del bulbo si predispone una pasticca di speciali metalli (cerio, bario, magnesio, mercurio, alluminio) facilmente volatilizzabili, che si fa esplodere sopraelevando la temperatura delle diverse parti metalliche. I vapori metallici così ottenuti occludono i gas residui rimasti nell'ampolla e si depositano sulle pareti fredde, creando quella superficie speculare che si osserva nelle valvole termoioniche.

In alcuni tubi, l'ampolla di vetro è rivestita internamente di grafite per evitare fenomeni di emissione secondaria da parte della stessa ampolla.

Le *valvole trasmittenti* sono caratterizzate dalla loro maggiore potenza: ve ne sono di pochi watt, sino a quelle di alcuni kilowatt per le grandi stazioni fisse.

Il filamento di queste valvole è quasi sempre di tungsteno puro, perchè i càtodi ricoperti di ossido si disgregano per l'azione delle elevate tensioni anodiche che vengono impiegate per il loro funzionamento. La corrente di accensione è compresa tra qualche ampere, sino a 20 ampere, sotto la tensione di alcune decine di volt.

Le tensioni anodiche sono di qualche migliaio di volt per le valvole di piccoli trasmettitori e raggiungono alcune decine di migliaia di volt nelle grandi valvole.

Nelle valvole di notevole potenza si sviluppa molto calore sulla placca a causa dell'urto continuo degli elettroni che sono animati

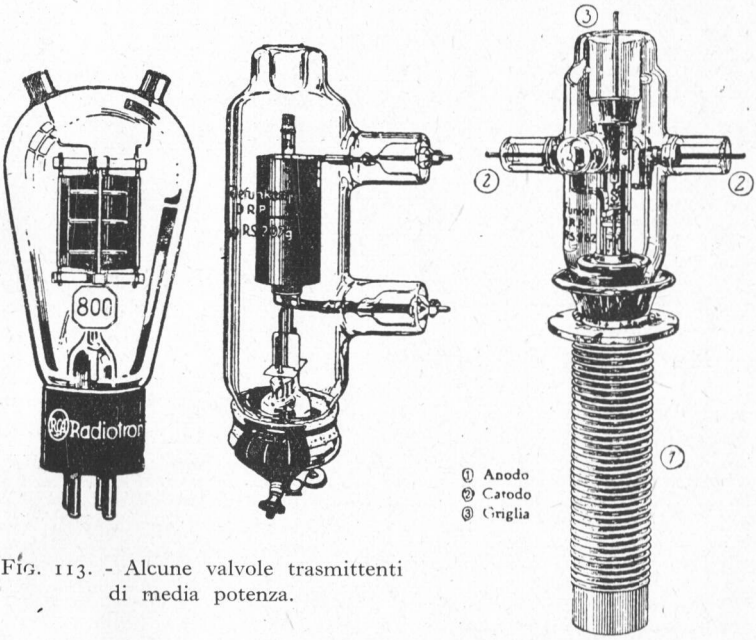


FIG. 113. - Alcune valvole trasmittenti di media potenza.

da elevatissime velocità. La placca raggiungerebbe, in breve, una temperatura assai elevata sino ad arroventarsi. È necessario, per questo, raffreddare la placca con mezzi idonei. Di solito l'ànodo è circondato da una *camicia* nella quale si fa circolare acqua fredda che provvede alla refrigerazione.

CAPITOLO VIII

LA VALVOLA TERMOIONICA COME OSCILLATRICE

65. - Notizie generali. — Al n° 17 del cap. III abbiamo visto che le correnti che spontaneamente si producono in un circuito oscillante sono *smorzate*, cioè decrescono poco per volta di ampiezza sino a ridursi a zero. Ma, con mezzi opportuni, è possibile compensare le perdite del circuito, somministrando ad esso quell'energia che si dissipa a causa delle perdite. Ciò può ottenersi in vario modo: a mezzo di alternatori di alta frequenza, dell'arco POULSEN (1) o della valvola termoionica. Quest'ultimo è il sistema esclusivamente oggi impiegato. In questo caso si dice che la valvola funziona da *oscillatrice* (2).

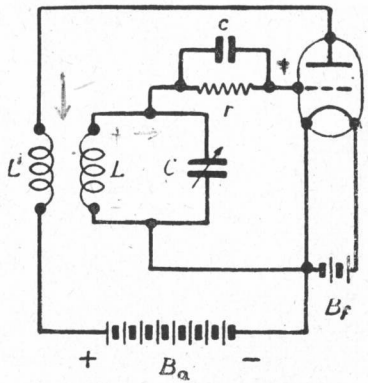


FIG. 114. - Circuito fondamentale di un oscillatore a trìodo. L'accoppiamento tra placca e griglia è realizzato a mezzo delle bobine L e L'.

66. - Circuito fondamentale del trìodo oscillatore. — Perchè un trìodo possa funzionare da oscillatore, è necessario creare un ritorno di energia dal circuito anodico a quello di

(1) Pronuncia: *Pô-ulsen.*

(2) La locuzione non è molto esatta: non è la valvola che oscilla, ma il circuito ad essa collegato.

griglia o, come suol dirsi, un *accoppiamento reattivo* tra i due circuiti, come è indicato nello schema di fig. 114. Il circuito oscillante nel quale si vogliono generare le oscillazioni persistenti è costituito dalla bobina L e dal condensatore C. La bobina L' inserita nel circuito anodico è accoppiata elettromagneticamente ad L, in modo da realizzare il necessario scambio di energia.

Ecco come funziona il circuito. Appena si accende la valvola, nella bobina L' si produce un brusco *aumento* di corrente. Nella bobina L si manifesta, allora, una forza elettromotrice indotta. Se il senso di avvolgimento di L e di L' è scelto in modo opportuno, l'azione di questa f. e. m. è di far diminuire il potenziale di griglia e, quindi, di provocare una *diminuzione* della corrente anodica attraverso la bobina L'.

Di conseguenza, nella bobina L si manifesta una forza elettromotrice indotta di senso contrario a quella precedente, la cui azione è di far aumentare il potenziale di griglia e, quindi, di provocare di nuovo un *aumento* di corrente anodica.

Il fenomeno si ripete identicamente infinite volte e permette di far pervenire al circuito LC tanti impulsi

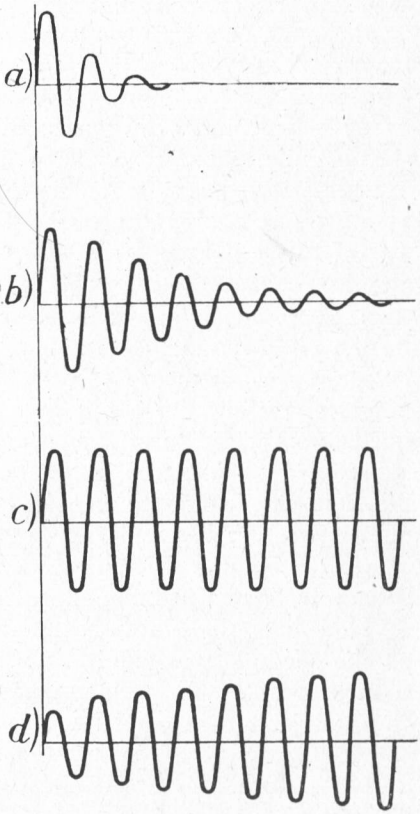


FIG. 115. - In *a*) è indicato il diagramma della corrente smorzata che naturalmente si genera in un circuito oscillante. In *b*) lo stesso diagramma nel caso che il circuito sia collegato ad un oscillatore a triodo, ma che l'accoppiamento tra placca e griglia sia lasco. In *c*) è il caso di accoppiamento normale e in *d*) di accoppiamento molto stretto.

successivi di corrente, che s'identificano con veri e propri rifornimenti di energia. Il circuito oscillante, eccitato dal primo impulso, diventa così sede di oscillazioni persistenti. Il trìodo compie la funzione di disciplinare i rifornimenti di energia, ma questi, in ultima analisi, sono fatti a spese della batteria anodica.

Il circuito LC oscilla con la frequenza sua propria indipendentemente dalla presenza della valvola (1).

67. - Influenza del grado di accoppiamento. — Perchè sia possibile realizzare oscillazioni persistenti nel circuito LC, è necessario regolare in modo opportuno il grado di accoppiamento tra la bobina L e quella L'.

Infatti, se l'accoppiamento è troppo lasco, l'energia che il circuito oscillante riceve non è sufficiente a compensare le perdite. Le oscillazioni, pertanto, si smorzano lo stesso benchè durino più a lungo che se non vi fosse l'azione del trìodo. Se, invece, l'accoppiamento è scelto secondo il valore giusto, l'energia che il circuito oscillante riceve in ogni istante eguaglia quella perduta nello stesso tempo: le oscillazioni sono persistenti. Se, infine, l'accoppiamento tra L e L' è molto stretto, l'energia che il circuito LC riceve a mezzo del trìodo supera quella perduta: le oscillazioni crescono di ampiezza, ma fino ad un certo punto, perchè le oscillazioni di corrente anodica della valvola non possono superare il valore di saturazione.

Non si consiglia un accoppiamento eccessivamente stretto perchè per le interreazioni tra le due bobine accoppiate (n° 27) si verifica una deformazione della corrente oscillante che perciò non risulta più perfettamente sinusoidale.

68. - Innesco delle oscillazioni. — Quando si è iniziato il fenomeno oscillatorio nel circuito LC, si dice che si è prodotto l'*innesco* delle oscillazioni. Perchè ciò possa aver luogo, è necessario che siano verificate alcune condizioni essenziali:

1° Gli avvolgimenti delle due bobine devono essere eseguiti in senso contrario, per la ragione detta al n° 66.

(1) Ciò fino ad un certo punto. In effetti, poi, le caratteristiche della valvola e le condizioni in cui essa lavora, influiscono in certo modo sulla frequenza delle oscillazioni prodotte.

2° Il grado di accoppiamento tra circuito anodico e circuito di griglia non deve essere inferiore ad un certo valore (che prende il nome di *accoppiamento limite d'innesco*).

3° Il trìodo deve funzionare nel punto di mezzo del tratto rettilineo di una sua caratteristica mutua allo scopo di poter conseguire un'ampia oscillazione di corrente anodica.

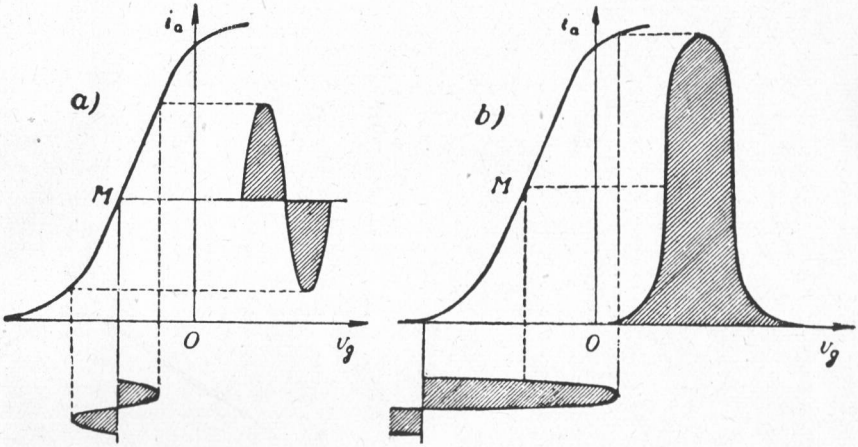


FIG. 116. - In *a*) tensione di griglia e corrente oscillante anodica nel caso che la valvola sia portata a funzionare nel punto di mezzo della sua caratteristica mutua. In *b*) lo stesso diagramma nel caso che il punto di lavoro sia scelto in prossimità del potenziale d'interdizione.

Perchè sia verificata quest'ultima condizione si può inserire tra griglia e càtodo una piccola batteria di pile che fornisca la giusta tensione alla griglia stessa.

Quando però la valvola funziona in queste condizioni il *rendimento* è molto basso. È per questo che negli oscillatori di grande potenza la valvola si fa lavorare con una tensione di griglia molto negativa, prossima al valore d'interdizione. In questo caso, la corrente anodica perde la sua forma sinusoidale e diventa pressochè rettangolare, come è visibile in *b*) della fig. 116. Comunque, l'oscillatore può perfettamente funzionare anche in queste condizioni. Si osservi però

che quando la tensione di griglia è molto negativa, è impossibile l'innesco delle oscillazioni.

Per conciliare le due condizioni (rendimento anodico elevato e sicuro innesco delle oscillazioni), la polarizzazione negativa della griglia del trìodo non viene realizzata con batteria di pile ma a mezzo di un particolare dispositivo costituito da un condensatore *c* e da una resistenza *r* in parallelo (fig. 114).

Inizialmente la griglia è a potenziale zero o a potenziale legger-

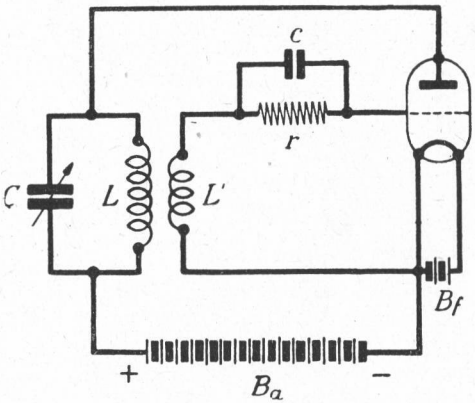


FIG. 117. - Oscillatore MEISSNER già indicato a fig. 114, ma con circuito oscillante inserito sulla placca.

mente negativo (1) e quindi è nelle condizioni migliori per l'innesco delle oscillazioni.

Successivamente, iniziatosi il regime oscillatorio del generatore, la griglia diventa alternativamente positiva e negativa. Durante l'intervallo di tempo in cui è positiva, essa raccoglie un certo numero di elettroni. Se non vi fosse la resistenza *r*, l'accumulo di elettroni diventerebbe in breve tempo notevole, rendendo la griglia tanto negativa da interdire il funzionamento della valvola.

Ma prima ancora che sia raggiunto questo stato di cose, una parte degli elettroni accumulati sulla griglia passa al filamento attraverso la resistenza *r*. Si provoca allora una caduta di tensione che serve a

(1) Se il ritorno di griglia è collegato al negativo della batteria di accensione.

conferire alla griglia il potenziale d'interdizione atto a far funzionare il triodo come oscillatore con elevato rendimento.

Il sistema descritto si chiama *polarizzazione con condensatore shuntato* o con *falla di griglia*.

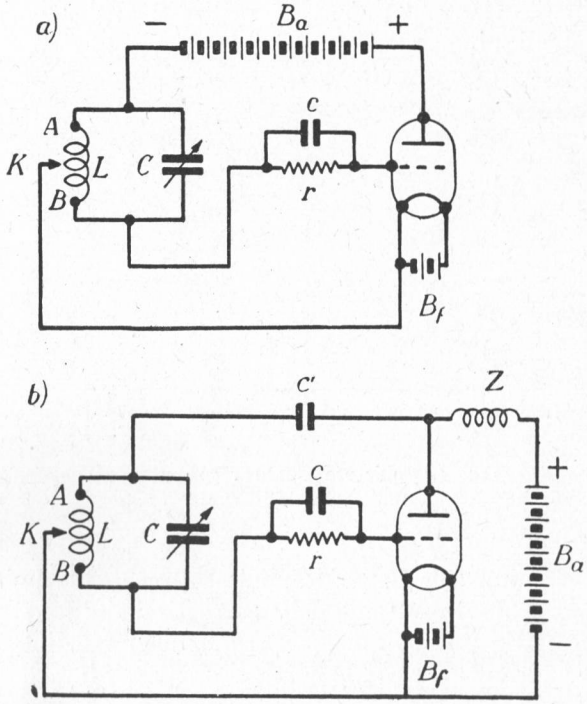


FIG. 118. - Oscillatore HARTLEY. In *a*) alimentazione anodica in serie e in *b*) alimentazione anodica in derivazione.

69. - Circuiti di oscillatori. — Il circuito di fig. 114 prende il nome di oscillatore tipo MEISSNER. Esso può essere realizzato anche col circuito oscillante collegato alla placca, invece che alla griglia (fig. 117).

Pure molto impiegato è il circuito HARTLEY indicato in figura 118, nel quale l'accoppiamento tra placca e griglia è ottenuto a mezzo di una sola bobina con una presa intermedia che

si collega al filamento. L'avvolgimento è diviso così in due sezioni: quella *AK* inserita nel circuito anodico e quella *BK* inserita nel circuito di griglia. Il grado di accoppiamento si regola spostando la presa intermedia lungo la bobina ed aumenta, quando il collegamento sia spostato verso il punto *B*.

Il circuito HARTLEY può essere realizzato anche con alimentazione anodica in parallelo (fig. 118 *b*). In questo caso, è necessario inserire un così detto *condensatore di blocco C'* che evita

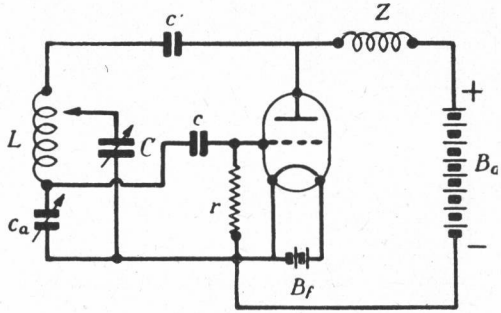


FIG. 119. - Oscillatore COLPITT con alimentazione anodica in derivazione.

il corto circuito della batteria anodica attraverso la bobina *L*, mentre consente il passaggio delle correnti di alta frequenza. È pure necessaria una *bobina di blocco Z* di elevata induttanza, che serve ad impedire che le correnti oscillanti, invece di agire sul circuito *LC*, passino attraverso la batteria anodica.

Ricordiamo, infine, il circuito COLPITT (fig. 119), nel quale l'accoppiamento tra placca e griglia è realizzato a mezzo del condensatore C_a. Anche in questo circuito si nota il condensatore e la bobina di blocco, come è detto precedentemente.

Circuiti speciali sono quelli per generare frequenze assai elevate (onde corte e cortissime). Tali sono l'oscillatore ARMSTRONG, quello di BARKHAUSEN e KURZ, e quello a *magnetroni*.

Per la conoscenza di questi circuiti rimandiamo il lettore ai trattati speciali.

CAPITOLO IX

LA VALVOLA TERMOIONICA COME AMPLIFICATRICE

70. - Notizie generali. — Più volte, nel corso dei precedenti capitoli, si è accennato alla possibilità di far funzionare il trìodo come *amplificatore.*

Vogliamo ora chiarire in che cosa consiste questa particolare funzione delle valvole termoioniche.

Se si parla o si emette un suono dinanzi ad un microfono, si realizzano nel circuito ad esso collegato correnti variabili molto deboli, capaci di produrre suoni appena percettibili in un ricevitore telefonico.

Ma se queste deboli oscillazioni vengono portate ad agire sulla griglia di un trìodo, si realizzano corrispondenti oscillazioni di corrente anodica notevolmente più ampie e capaci anche di far vibrare la lamina di un altoparlante. Si ottengono suoni assai più forti di quelli pronunziati al microfono e, quindi, si realizza un *effetto amplificatore.* In questo caso la valvola funziona come *amplificatrice di bassa frequenza* perchè le oscillazioni che abbiamo portato sulla griglia hanno frequenza acustica, inferiore dunque a quel limite convenzionalmente fissato in 30 mila periodi al secondo.

Si possono realizzare pure amplificatori destinati ad amplificare oscillazioni di alta frequenza, come per es. quelle che si generano nel circuito oscillante di un apparato trasmittente o quelle che si destano nel circuito dell'aereo ricevente.

71. - Teoria del trìodo amplificatore. — Riferiamoci alla fig. 121, nella quale è indicata la caratteristica mutua di un trìodo, insieme allo schema fondamentale di un amplificatore.

Supponiamo che il potenziale di polarizzazione conferito alla griglia dalla batteria B_g sia tale da portare la valvola a funzionare nel punto di mezzo M della sua caratteristica.

Come si vede, ciò si verifica per una tensione negativa di gri-

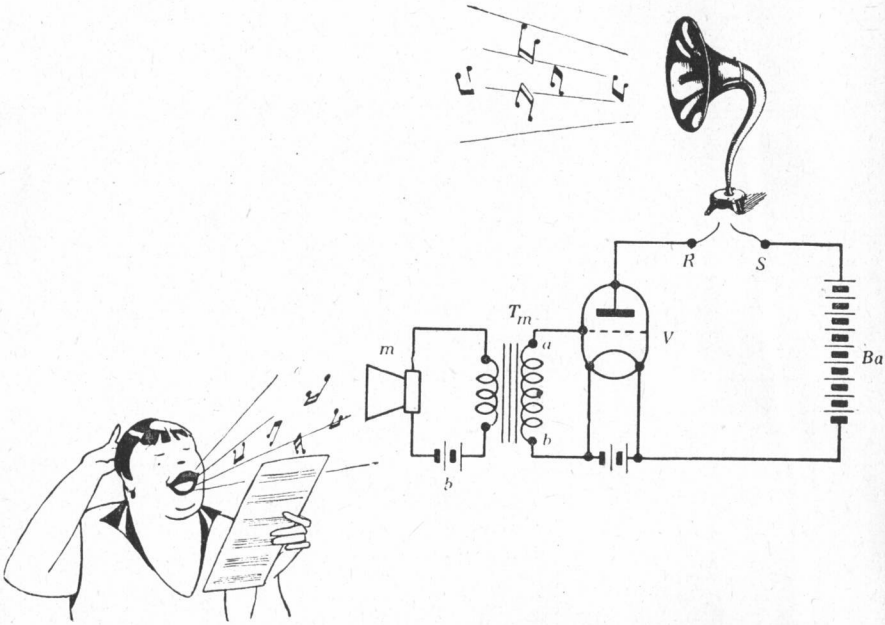


FIG. 120. - Principio di funzionamento del trìodo come amplificatore. Le deboli oscillazioni di tensione che si generano nel circuito microfonico agiscono sulla griglia del trìodo e provocano ampie oscillazioni di corrente anodica, in modo da produrre suoni sensibili in un altoparlante.

glia di 4 volt e la corrente anodica di riposo risulta di 3,5 milliampere. Supponiamo, ora, che tra i punti A e B del circuito, che in figura è contrassegnato con la parola *entrata*, si applichi una tensione alternata di frequenza f. Ne consegue un'oscillazione di corrente anodica che riproduce esattamente la forma della tensione applicata alla griglia ed ha la stessa frequenza. Ai capi della resistenza r', tra i punti H e K contrassegnati con

uscita è disponibile una d. d. p. che, con una scelta opportuna del valore di r', può risultare molto più elevata di quella applicata in entrata, pur conservandone la forma e la frequenza. Se al posto della resistenza si dispone un telefono, un altoparlante, un relé o qualsiasi altro apparecchio utilizzatore, questo viene attraversato da una corrente alternata di ampiezza maggiore

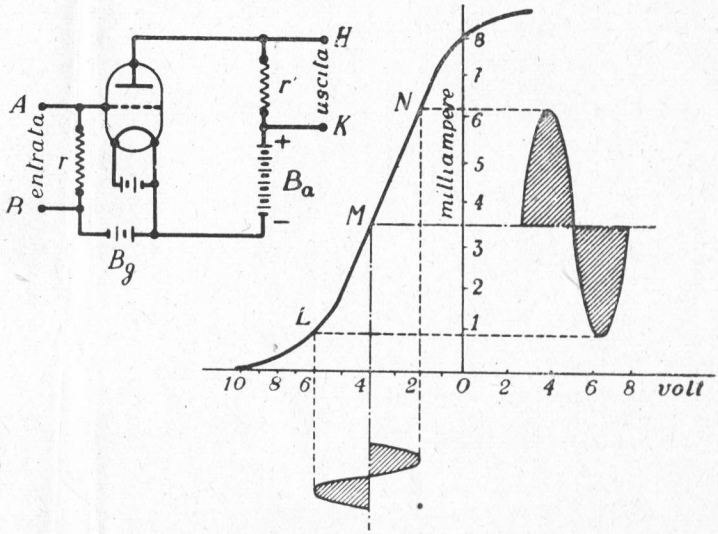


FIG. 121. - Circuito fondamentale del trìodo amplificatore e relativo diagramma di funzionamento. L'oscillazione di tensione che agisce sul circuito di griglia produce nel circuito anodico un'ampia oscillazione di corrente della stessa frequenza e della stessa forma. La valvola lavora nel punto di mezzo della sua caratteristica mutua.

di quella che si sarebbe ottenuta applicando direttamente ad esso la tensione disponibile in entrata. In questo consiste l'*effetto amplificatore* del trìodo, di cui è fatto cenno al n° 54.

72. - Necessità di una polarizzazione-base di griglia. — Per il buon funzionamento del trìodo come amplificatore è necessario che il punto iniziale di lavoro sia al centro del tratto rettilineo della sua caratteristica. Se questa condizione non è verificata, l'oscillazione di corrente anodica non ha la stessa

forma della curva di tensione applicata alla griglia e il segnale risulta alterato (il suono che si ascolta nella cuffia è distorto), come si vede nel diagramma di fig. 122. È necessario, perciò, conferire alla griglia della valvola un'opportuna tensione (generalmente negativa), che sia quella che corrisponde al punto di mezzo del tratto rettilineo della sua caratteristica mutua.

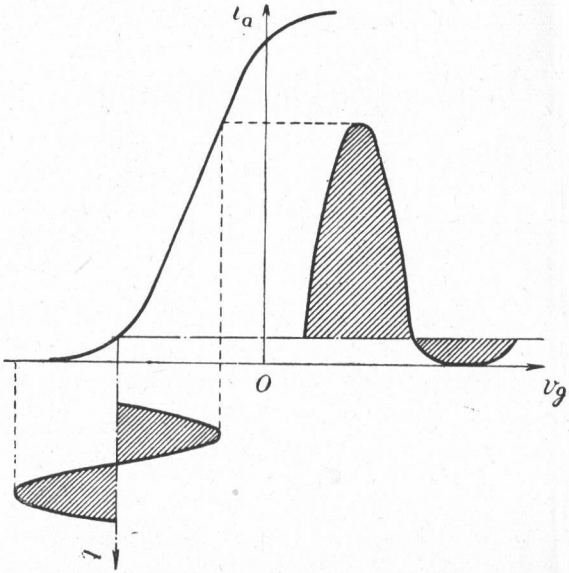


FIG. 122. - Se la valvola non lavora nel punto di mezzo della sua caratteristica, l'oscillazione di corrente anodica non riproduce più la stessa forma dell'oscillazione di tensione applicata alla griglia. Vi è *distorsione*.

Ciò si può ottenere o inserendo una piccola batteria di poche pilette a secco tra la griglia e il filamento o a mezzo di una resistenza inserita tra il càtodo della valvola e il negativo comune. Questa resistenza, attraversata dalla corrente anodica provoca la necessaria caduta di tensione che rende la griglia negativa (1).

(1) Quando la valvola funziona nelle condizioni anzidette, si ha un amplificatore in *classe A*. Però, è possibile far funzionare le valvole anche fuori del tratto rettilineo delle loro caratteristiche, provvedendo con accor-

73. - Amplificatori di bassa frequenza a più valvole. — Per ottenere una notevole amplificazione, si sogliono costruire amplificatori a molte valvole. In questo caso è necessario che le oscillazioni di corrente, disponibili nel circuito anodico della prima valvola, siano trasformate in oscillazioni di tensione, le quali poi devono agire sulla griglia della valvola seguente che le amplifica una seconda volta. Le oscillazioni di corrente anodica

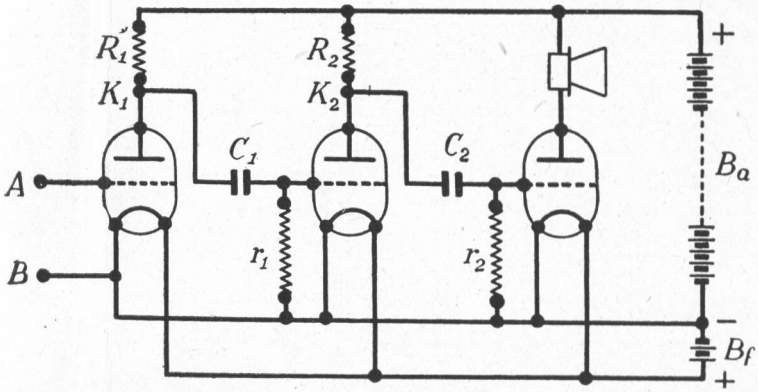


FIG. 123. - Schema di amplificatore a tre valvole con collegamento a resistenza-capacità.

prodotte dalla seconda valvola vengono trasformate di nuovo in oscillazioni di tensione e applicate alla griglia della terza valvola, ecc. L'amplificazione totale che si consegue con più valvole è eguale al prodotto delle amplificazioni ottenute dai singoli stadi.

Particolare importanza ha l'organo che collega una valvola alla successiva. Esso, pur consentendo il necessario trasferimento delle oscillazioni, deve mantenere poi separate tra loro la placca della valvola che precede dalla griglia della valvola che segue. Infatti, mentre la placca richiede una tensione positiva elevata, la griglia deve essere portata ad una lieve tensione negativa. In pratica, si usano due sistemi di collegamento: quello a *resistenza-capacità* e quello a *trasformatore*.

gimenti opportuni ad eliminare le distorsioni che si verrebbero così a provocare. In tali condizioni, la valvola funziona come amplificatrice in *classe B* o *C*, con un rendimento molto elevato.

La fig. 123 è lo schema di un amplificatore a 3 valvole collegate tra loro a resistenza-capacità.

I morsetti di entrata sono contrassegnati con *A* e *B*. Ad essi viene applicata la tensione variabile di bassa frequenza che si vuole amplificare, in modo da produrre piccole oscillazioni di tensione di griglia della prima valvola, cui corrispondono

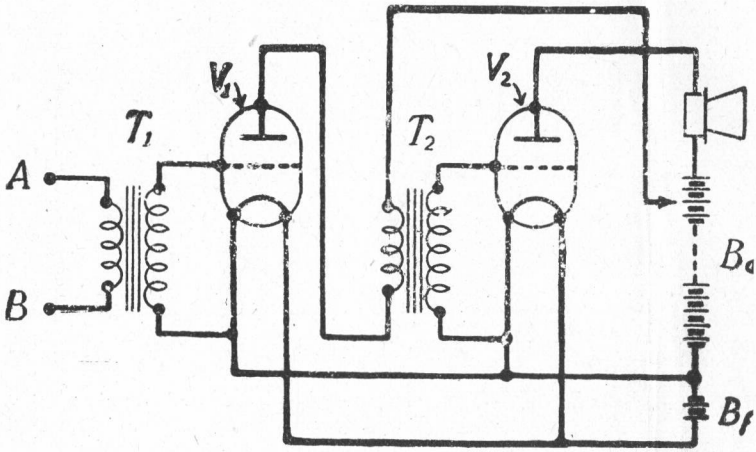


FIG. 124. - Schema di amplificatore con collegamento a trasformatore.

ampie oscillazioni di corrente anodica. Queste, attraversando la resistenza R_1, dànno luogo a cadute di tensioni variabili. La tensione del punto K_1, oscilla, dunque, continuamente, secondo il ritmo dei segnali applicati alla griglia del trìodo. A mezzo del condensatore C_1, questa tensione oscillante viene portata sulla griglia della seconda valvola. La resistenza r_1 serve poi ad evitare che la griglia resti isolata ed accumuli elettroni, diventando negativa sino all'interdizione della corrente anodica (1).

Le resistenze R_1, R_2,... hanno valore da 50 mila a 200 mila ohm, secondo il tipo di valvola; le resistenze r_1, r_2,... da 1 a

(1) Questa resistenza è detta comunemente *resistenza di fuga*. Attraverso di essa gli elettroni accumulati sulla griglia ritornano al càtodo.

5 megohm; il condensatore di collegamento ha una capacità di 10 mila micromicrofarad (10^{-8} farad).

La fig. 124 illustra lo schema di un amplificatore di bassa frequenza a due stadi, con collegamento a trasformatore. Questo è costituito da un nucleo di lamierini di ferro al silicio, sul quale sono sistemati due avvolgimenti: uno *primario* di cui un capo si collega alla placca della valvola e un altro al positivo della batteria anodica; il *secondario*, invece, è collegato alla griglia e al filamento della valvola successiva.

Applicando un segnale variabile alla griglia della prima valvola, si producono variazioni di corrente anodica che agiscono attraverso il primario del trasformatore di collegamento. Nel secondario si destano f. e. m. indotte che vanno ad agire sulla griglia della seconda valvola e producono variazioni molto ampie della corrente anodica capaci di dar luogo a forti suoni nell'altoparlante.

Il rapporto tra il numero di spire primarie e quelle secondarie del trasformatore di collegamento, è compreso tra $^1/_2$ e $^1/_5$.

Qualche volta alle resistenze R_1, R_2,... nello schema di figura 123, si sostituiscono bobine di forte induttanza. Si realizza, così, un collegamento a *impedenza - capacità* che permette di ottenere un'amplificazione più uniforme di tutte le frequenze acustiche.

Per l'ultimo stadio degli amplificatori di grande potenza spesso s'impiega un sistema speciale di collegamento detto a *controfase* o, con parola straniera, a *push-pull*. Esso viene realizzato con due valvole di eguali caratteristiche, collegate in opposizione a mezzo di speciali trasformatori i quali hanno una presa nel punto centrale di uno degli avvolgimenti. Lo schema è indicato in fig. 125. Quando al primario del trasformatore di entrata si applica la tensione oscillante da amplificare, agli estremi del secondario, rispetto al punto centrale O che resta a potenziale zero, si producono due tensioni eguali ed in opposizione di fase. Se in un determinato istante la tensione applicata alla griglia della valvola V_1 è e_g, contemporaneamente alla griglia della valvola V_2 la tensione applicata è $-e_g$. Il sistema formato dalle due valvole si comporta, dunque, come una valvola unica la cui caratteristica è la risultante

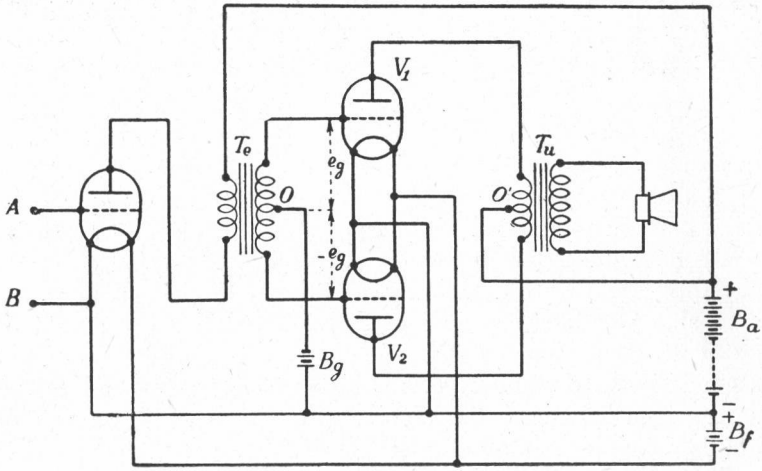


FIG. 125. - Collegamento a controfase con due valvole in opposizione adatto per amplificatori di grande potenza.

delle due caratteristiche disegnate l'una in opposizione all'altra. Questa risultante è, con buona approssimazione, una retta (fig. 126). Si ha così a disposizione un ampio tratto rettilineo che permette di conseguire una forte amplificazione, priva di distorsione.

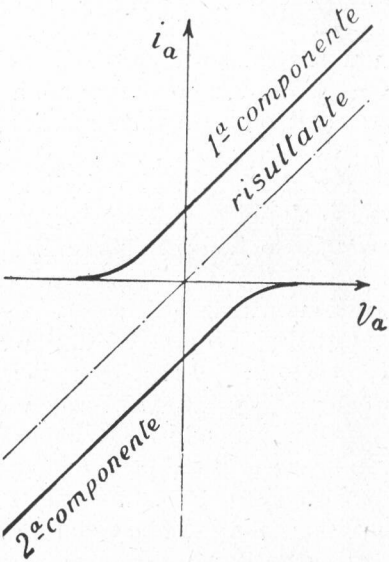


FIG. 126. - La curva di lavoro di un amplificatore con due valvole in opposizione è praticamente una retta.

74. - Collegamento del ricevitore telefonico. — Il ricevitore telefonico (cuffia o altoparlante) può essere collegato in diversi modi alla valvola finale dell'amplificatore. Il sistema più semplice è quello dell'inserzione *diretta*, che però si può impiegare solo

quando l'impedenza del ricevitore sia press'a poco eguale alla resistenza interna della valvola. In questo caso, l'avvolgimento del rice-

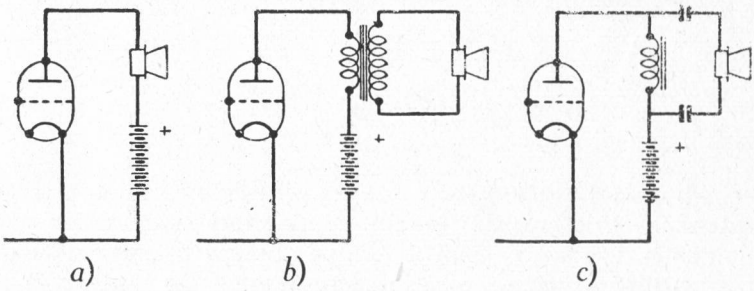


FIG. 127. - Vari sistemi di collegamento dell'altoparlante alla valvola finale. *a*) collegamento diretto; *b*) a trasformatore; *c*) a impedenza-capacità.

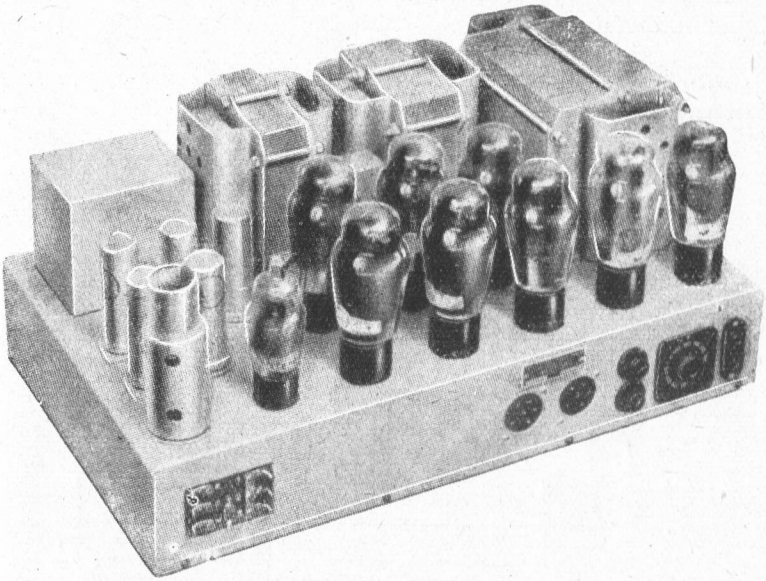


FIG. 128. - Un amplificatore di grande potenza a dieci valvole.

vitore viene attraversato dalla corrente anodica e ciò non è conveniente, perchè vi è pericolo che l'avvolgimento possa bruciare per sovraccarico e, in ogni caso, si può produrre la saturazione magne-

tica dei nuclei, con la conseguenza di forti distorsioni acustiche. Il sistema *a trasformatore* evita questo pericolo e permette di realizzare le condizioni di massimo rendimento, qualunque sia la resistenza dell'altoparlante.

Infine, il sistema *a impedenza-capacità*, pur consentendo di evitare che la corrente di riposo della valvola passi nel ricevitore, non permette di adeguare bene l'impedenza del ricevitore alla resistenza della valvola.

75. - Notizie generali sugli amplificatori di alta frequenza. — Sostanzialmente gli amplificatori di alta frequenza non sono diversi da quelli descritti in precedenza. Il principio teorico di funzionamento è lo stesso, indipendentemente dalla frequenza del segnale applicato alla griglia della valvola amplificatrice, e ciò perchè il flusso elettronico si può ritenere assolutamente privo d'inerzia e quindi può seguire impulsi di frequenza qualunque.

76. - Vari sistemi di collegamento intervalvolare negli amplificatori di alta frequenza. — Anche gli amplifi-

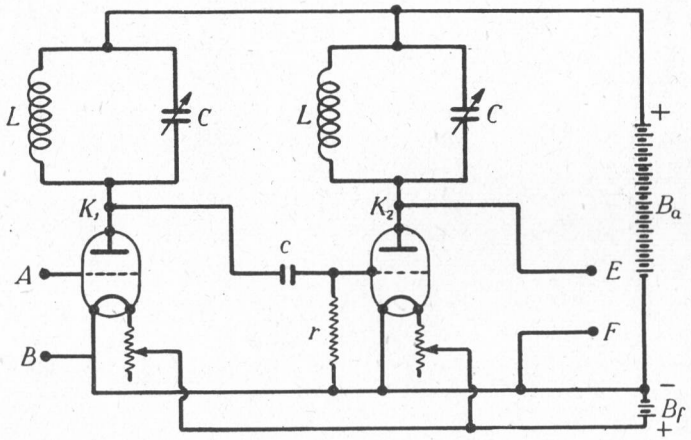


Fig. 129. - Schema di un amplificatore di alta frequenza a risonanza.

catori di alta frequenza possono essere realizzati con due o più stadi di amplificazione, ciascuno dei quali utilizza un separato tubo termoionico. Per collegare uno stadio a quello successivo

occorre un organo di accoppiamento che possa compiere le stesse funzioni di quelli descritti per gli amplificatori di bassa frequenza.

I sistemi di collegamento più importanti sono tre: quello *a resistenza-capacità;* quello *a circuito accordato* e quello *a trasformatore di alta frequenza.* Quest'ultimo è il più comunemente impiegato.

Lo schema del circuito a resistenza-capacità è identico a quello indicato in fig. 123.

La capacità di accoppiamento è di circa 250 micromicrofarad. Questo sistema non viene più impiegato a causa del suo basso rendimento.

Lo schema del collegamento a circuito anodico accordato, detto pure *a risonanza* è indicato in fig. 129. Esso non differisce molto dal sistema a resistenza-capacità: sulla placca, in luogo della resistenza R, è disposto un circuito oscillante LC, la cui frequenza propria può essere regolata a mezzo del condensatore variabile.

Si ricordi che un circuito oscillante offre un'impedenza elevatissima, teoricamente infinita, alle correnti che abbiano la frequenza su cui il circuito è accordato.

Se, dunque, applichiamo alla griglia della prima valvola una debole tensione oscillante di frequenza f e accordiamo il circuito LC proprio su tale frequenza, le correnti oscillanti anodiche che vengono a prodursi sono bloccate e non possono attraversare la batteria di pile, mentre attraverso il condensatore c, vanno ad agire sulla griglia della seconda valvola che le amplifica successivamente con lo stesso sistema. La resistenza di fuga r, serve, come al solito, ad impedire accumulo di elettroni sulla griglia della valvola.

Il circuito oscillante LC compie in questo caso la stessa funzione che la resistenza R adempie nel circuito descritto precedentemente. Però, mentre alla resistenza R non si può assegnare valore troppo alto (1), invece il circuito LC, quando

(1) Infatti, il circuito anodico oltre ad essere attraversato dalle correnti oscillanti provocate dalle variazioni del potenziale di griglia, è anche attraversato dalla corrente di riposo della valvola. Se la resistenza R è molto elevata, si provoca una forte caduta di tensione, che abbassa il potenziale di placca. Quindi bisognerebbe impiegare batterie anodiche a potenziale elevatissimo, per compensare le cadute di tensione.

è in risonanza sulla frequenza della corrente che si vuole amplificare, oppone al passaggio di questa un'impedenza pres-

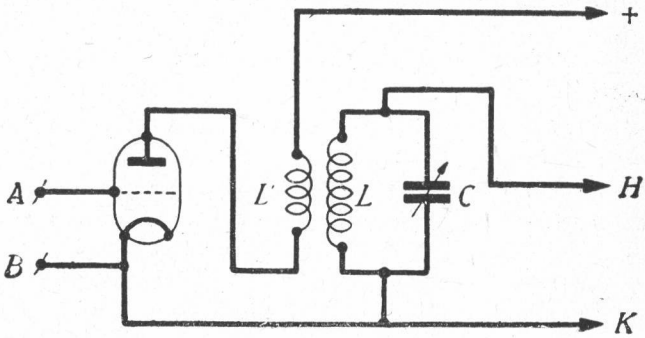


FIG. 130. - Amplificatore di alta frequenza a trasformatore. Il trasformatore è senza nucleo di ferro, del tipo illustrato in fig. 131.

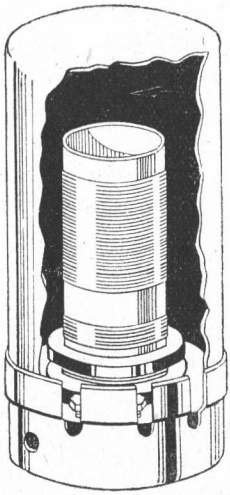


FIG. 131. - Trasformatore di alta frequenza senza nucleo di ferro. Il trasformatore viene racchiuso in uno schermo metallico per sottrarlo all'azione di campi elettromagnetici esterni.

sochè infinita. Questa condizione è essenziale onde ottenere il più alto rendimento possibile nell'amplificazione.

Però il sistema generalmente impiegato nei moderni circuiti è il collegamento intervalvolare a trasformatore di alta frequenza. Lo schema è quello di fig. 130 e ricorda il circuito che s'impiega negli amplificatori di bassa frequenza. Il trasformatore intervalvolare è assai diverso, perchè è formato di poche spire (per le onde medie: una ventina al primario e un centinaio al secondario) e non ha nucleo di ferro. Gli avvolgimenti vengono solitamente eseguiti su tubi di ebanite o cartone bachelizzato e racchiusi entro scatole di alluminio o rame che funzionano

da schermo. Il secondario viene accordato a mezzo di un condensatore variabile sulla frequenza che si vuole amplificare. Il collegamento a trasformatore permette di realizzare un rendimento molto elevato.

77. - Comando unico nella sintonia di più circuiti accordati. — Sia negli amplificatori a risonanza sia in quelli a trasformatore, è necessario accordare tutti i circuiti oscillanti dei diversi stadi, manovrando i singoli condensatori variabili. Negli amplificatori a molti stadi riesce difficile, o per lo meno laboriosa, la regolazione separata di molti condensatori. In questo caso si può semplificare la manovra di accordo, utilizzando un condensatore multiplo (fig. 23), in modo che girando un solo asse, si ottenga la rotazione delle armature mobili di tutti i condensatori. Perchè ciò sia possibile in pratica, è necessario che tutti i circuiti oscillanti siano rigorosamente eguali.

Inevitabili piccole differenze vengono eliminate a mezzo di *compensatori*, cioè condensatori semifissi di minima capacità collegati in parallelo a quelli variabili e che si regolano una volta tanto.

78. - Oscillazioni parassite negli amplificatori di alta frequenza. - Neutralizzazione. — È molto facile che negli amplificatori di alta frequenza si possano produrre intempestivamente oscillazioni locali di frequenza press'a poco eguale a quella delle oscillazioni che si vogliono amplificare.

Infatti, quando esiste un accoppiamento tra circuito di placca e circuito di griglia di una valvola, questa può entrare in oscillazione (n° 66) specialmente quando i due circuiti sono accordati sulla stessa frequenza. E questo è proprio il caso delle valvole di un amplificatore. L'accoppiamento tra placca e griglia si produce facilmente, sia per l'effetto d'induzione elettromagnetica e di capacità tra i fili del circuito che fanno capo ai piedini della valvola, ma soprattutto per la capacità interna degli elèttrodi della valvola stessa (n° 58). Queste oscillazioni che si producono localmente interferiscono con quelle che si vogliono amplificare e si generano delle correnti risultanti di forma e frequenza diversa. Queste oscillazioni spontanee sono dannose

perchè producono un'alterazione del segnale, nel senso che la corrente in uscita dall'amplificatore è di forma diversa di quella del segnale applicato in entrata.

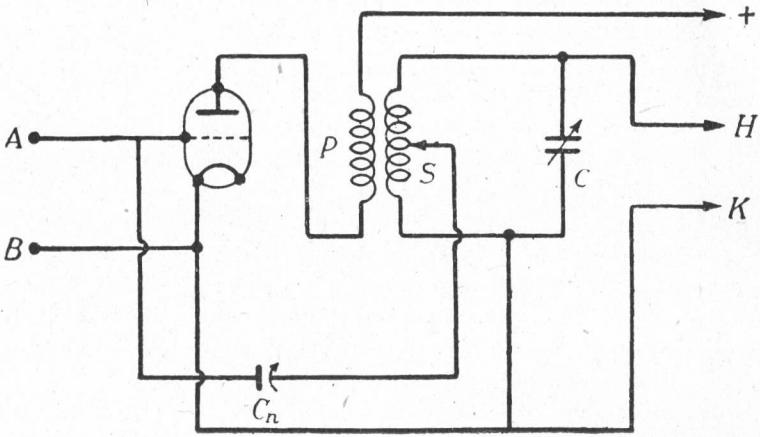


FIG. 132. - Amplificatore di alta frequenza neutralizzato.

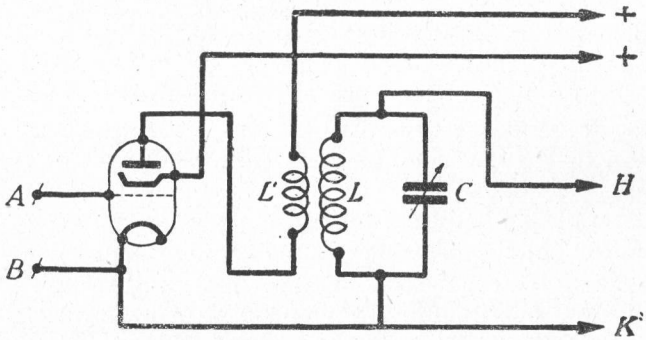


FIG. 133. - Amplificatore di alta frequenza con valvola schermata.

Si possono impedire queste autoscillazioni, ricorrendo alla *neutralizzazione* della capacità interna delle valvole secondo il sistema per la prima volta proposto dal tecnico americano HAZELTINE. Un condensatore di piccola capacità C_n, detto

condensatore di neutralizzazione, è collegato tra il secondario del trasformatore di accoppiamento e la griglia della valvola amplificatrice. Allora sulla griglia della valvola vengono ad agire, tra l'altro, due tensioni oscillanti: una che giunge attraverso la capacità interna della valvola e che tende a far entrare la valvola in oscillazione; l'altra attraverso il neutrocondensatore. Se il circuito di griglia e quello di placca sono in sintonia, queste due tensioni sono esattamente in opposizione di fase e regolando in modo opportuno la capacità del condensatore C_n si può ottenere pure che siano eguali tra loro e si facciano equilibrio.

In tali condizioni la valvola non può entrare in oscillazione e l'amplificatore risulta stabile.

Altri sistemi di neutralizzazione sono il RICE, il *difarad*, e tutti sono basati sul principio esposto.

79. - Impiego delle valvole schermate. — Ma il mezzo più sicuro per ottenere amplificatori di alta frequenza completamente stabili, consiste nell'uso delle valvole schermate. Queste, come è detto al n° 61 *c*), per la presenza dello schermo interposto tra placca e griglia, hanno una minima capacità interna, insufficiente a produrre l'innesco delle oscillazioni. Le valvole schermate permettono pure di conseguire un più elevato coefficiente di amplificazione.

Esse, però, si possono impiegare solo per piccole potenze, perchè sono valvole di alta resistenza interna e quindi erogano bassa corrente anodica. Per gli stadi amplificatori di grande potenza degli apparati trasmittenti è necessario impiegare normali triodi, resi stabili con la neutralizzazione.

CAPITOLO X

APPARATI DI TRASMISSIONE

80. - Notizie generali. — I *trasmettitori* sono apparati che consentono l'emissione di onde elettromagnetiche per le radiocomunicazioni.

Quando la portata della trasmissione è di pochi chilometri, gli apparecchi sono relativamente semplici, di limitato ingombro e peso;

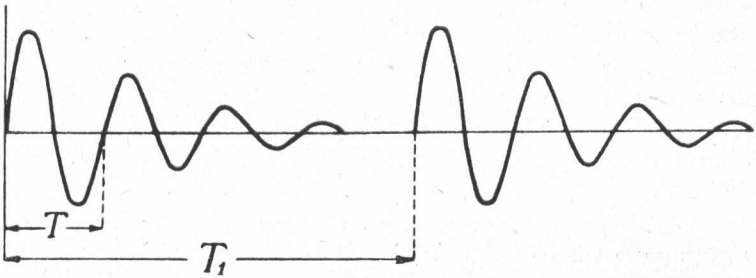


FIG. 134. - Le stazioni a scintilla emettono *treni* di oscillazioni smorzate che si susseguono l'uno all'altro. In pratica, il *periodo acustico* T_1 è dell'ordine del centesimo o millesimo di secondo; il *periodo radiotelegrafico* T è notevolmente minore. Per necessità di disegno, in figura non è rispettato questo rapporto tra T e T_1.

invece per ottenere trasmissioni a grande distanza, si rendono necessari apparati assai complessi, alloggiati in appositi edifizi, cui si dà il nome di *stazioni trasmittenti*.

I trasmettitori si distinguono in due classi fondamentali: *a onde smorzate* e *a onde persistenti*. Come è noto, la trasmissione con onde smorzate, ottenuta a mezzo degli apparati a scintilla, oggi è abban-

donata del tutto e lo studio di questi trasmettitori ha soltanto importanza didattica.

Un'altra distinzione tiene conto della lunghezza d'onda impiegata. Si distinguono, pertanto: stazioni *a onde lunghe*, *medie* e *corte*. Trasmettitori a onde cortissime, al disotto di 5 metri, cominciano già a diventare di impiego comune in alcune particolari applicazioni.

Infine, secondo un'altra classificazione, si distinguono: stazioni *radiotelegrafiche* e *radiotelefoniche*.

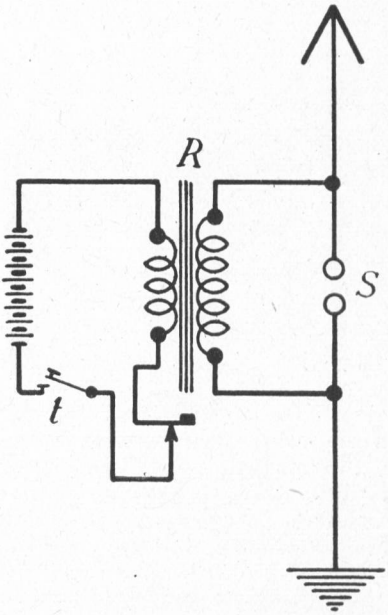


FIG. 135. - Schema del primo apparato trasmittente impiegato da MARCONI nelle sue classiche esperienze di radiotelegrafia a Villa Grifone. Secondo questo sistema l'aereo veniva eccitato direttamente.

81. - Trasmettitori a scintilla. — Nel capitolo VIII abbiamo visto che rifornendo un circuito oscillante di energia con continuità a mezzo della valvola termoionica, è possibile mantenere in esso oscillazioni di ampiezza costante.

Nelle stazioni a scintilla questo rifornimento di energia avviene, invece, saltuariamente, benchè a intervalli eguali di tempo. Si verifica, allora, che quando giunge il nuovo impulso di corrente, l'oscillazione precedente si è già spenta del tutto. Si viene così a realizzare una successione di oscillazioni smorzate, ciascuna delle quali costituisce un *treno d'onda*.

Nelle oscillazioni di questo tipo bisogna distinguere il così detto *periodo radiotelegrafico* T (cioè il tempo che dura una singola oscillazione) e che risulta molto piccolo e il *periodo acustico* T_1 (cioè l'intervallo di tempo tra l'inizio di un treno d'onda e l'inizio del successivo) che è molto più lungo.

In fig. 136 è indicato lo schema di un semplice trasmettitore a scintilla. Il circuito oscillante LC è eccitato dal secondario di un rocchetto di RUHMKORFF. La tensione fornita da questo carica il condensatore sino a che il potenziale tra le armature raggiunge il valore sufficiente per far scoccare la scintilla tra le due sferette dello *spinterometro s*. Il circuito LC si chiude attraverso la scintilla ed entra in oscillazione smorzata sino a spegnersi (1). Nel secondario del rocchetto si produce una nuova f. e. m. che carica ancora una volta il condensatore e fa ripetere la scarica oscillatoria.

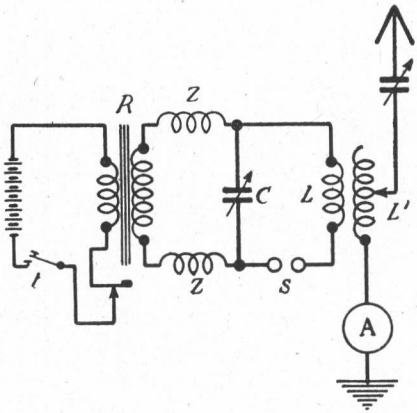


FIG. 136. - Un semplice schema di trasmettitore a scintilla. Il circuito LC è alimentato dal rocchetto R. L'aereo è eccitato attraverso l'accoppiamento elettromagnetico esistente tra la bobina L e quella L'. Il tasto di trasmissione è indicato con t. Un amperometro termico A misura la corrente di antenna.

Il circuito LC è accoppiato all'aereo nel quale induce correnti della stessa frequenza e della stessa forma di quelle da esso generate. L'aereo irradia, allora, onde elettromagnetiche. Per ottenere un buon rendimento, l'antenna deve essere sintonizzata sulla stessa frequenza. Un amperometro termico A misura l'intensità di corrente alla base dell'aereo.

Se il condensatore viene caricato n volte al secondo, la potenza che il rocchetto fornisce al circuito oscillante è:

$$P = \frac{1}{2} n C V^2.$$

(1) La fotografia della scintilla si presenta come in fig. 8 e fu ottenuta per la prima volta da FEDDERSEN.

Per ottenere la massima potenza, è necessario aumentare il numero delle cariche al secondo (1) e la tensione fornita dal secondario del rocchetto.

Molta importanza ha il comportamento dello spinterometro. Infatti sotto l'azione delle scariche elettriche, l'aria contenuta tra le due sferette viene *ionizzata* (2) e perciò diventa conduttrice. In tali condizioni è come se il secondario del rocchetto fosse permanentemente chiuso attraverso un tratto conduttore e, quindi, si determina una sottrazione di energia alla carica del condensatore.

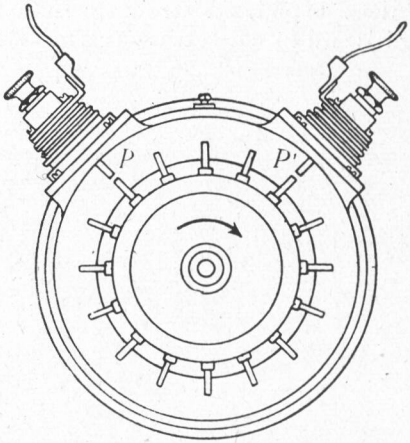


FIG. 137. - Disposizione schematica delle diverse parti di uno spinterometro a disco rotante.

Si sono studiati vari tipi di spinterometri, ma il risultato migliore si ottenne con lo *spinterometro a disco rotante* di MARCONI.

Consta di un disco di materiale isolante alla cui periferia è calettata una corona metallica munita di un certo numero di punte radiali. Il disco ruota entro una corona fissa che porta due elettrodi P e P'. Quando due punte del disco vengono a trovarsi di fronte alle punte fisse, si forma la scintilla nei due spazi spinterometrici. In un giro del disco si hanno tante scintille quanto è il numero delle punte del disco rotante. Si possono ottenere 500 e anche più scintille al secondo e non si produce la ionizzazione, perchè il movimento rapido del disco rinnova l'aria nello spazio spinterometrico. La fig. 138 dà lo schema di un trasmettitore a scintilla che fa uso dello spinterometro descritto.

Di particolare si osserva: l'apparecchio non è più alimentato da

(1) Questo dipende dal numero d'interruzioni che può dare il martelletto intercalato sul primario.

(2) Vedi nota 2 al nº 39.

un rocchetto, ma da un alternatore che genera una frequenza di un migliaio di periodi al secondo. Il disco dello spinterometro è coassiale con l'alternatore. Quest'ultima condizione è essenziale onde ottenere un perfetto sincronismo tra gli istanti in cui la tensione è massima alle armature

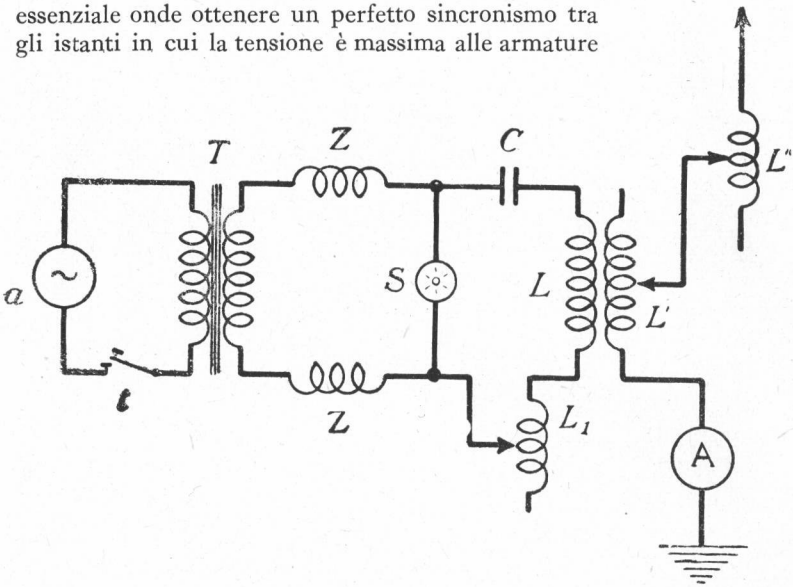


FIG. 138. - Schema di un trasmettitore a scintilla che impiega lo spinterometro a disco rotante. Il trasmettitore è alimentato da un alternatore *a;* il trasformatore *T* eleva la tensione al valore opportuno per eccitare il circuito *LC*. Si osservi la bobina di accoppiamento *L'* con l'aereo e le induttanze di regolazione L_1 e *L''*.

del condensatore e gli istanti in cui viene chiuso lo spazio spinterometrico.

Lo spinterometro a disco consente di ottenere un elevato numero di scintille al secondo e quindi una potenza notevole nel circuito oscillante. Ma presenta pure un altro vantaggio. Quando si ascolta un trasmettitore a scintilla, nel ricevitore telefonico si avverte un suono la cui altezza corrisponde esattamente alla frequenza delle cariche del circuito oscillante. Nei trasmettitori azionati dal rocchetto si hanno cento o duecento interruzioni al secondo e, pertanto, in ricezione si ascolta un rumore piuttosto che un suono. Ecco perchè le stazioni con rocchetto furono chiamate *a scintilla rauca* e quelle a

disco rotante *a scintilla musicale*. Queste ultime vengono ascoltate con una nota pura, costante, che si distingue perfettamente dai rumori prodotti da tutti i disturbi che infastidiscono le ricezioni.

82. - Notizie generali sui trasmettitori a valvola - La modulazione. — Parte essenziale di un apparato di trasmissione a valvola è il circuito generatore di oscillazioni persistenti.

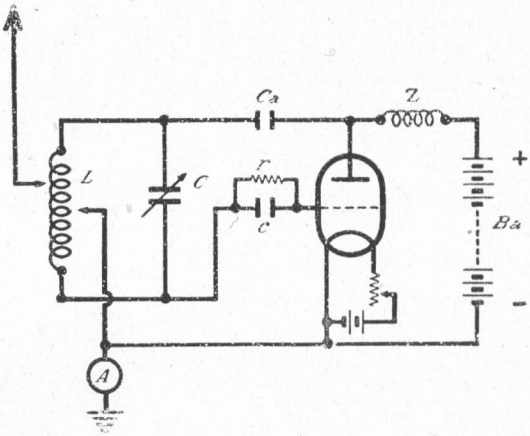


FIG. 139. - Un piccolo trasmettitore a valvola. Lo schema impiegato è quello HARTLEY con alimentazione anodica in derivazione (fig. 118 *b*).

A tale scopo può essere impiegato uno qualsiasi dei circuiti descritti al cap. VIII. Il circuito HARTLEY è tra i più impiegati, specialmente per trasmettitori ad onde corte.

La bobina dell'oscillatore viene accoppiata a quella dell'aereo, cui trasmette le oscillazioni generate. È opportuno che l'accoppiamento non sia molto stretto, onde evitare interreazioni tra i due circuiti. L'aereo viene accordato sulla lunghezza d'onda da trasmettere a mezzo di una bobina e di un condensatore variabili. Un amperometro termico permette di misurare l'intensità di corrente alla base dell'aereo.

Con il circuito così realizzato (fig. 139) è possibile irradiare solo onde persistenti continue. Ma in pratica interessa assai di

più la generazione delle *onde modulate* perchè solo così è possibile realizzare la radiotelefonia.

La *modulazione* rappresenta quel processo mediante il quale è possibile combinare insieme una corrente oscillante di alta frequenza (corrente *portante*) con un'altra di bassa frequenza (segnale *modulante*).

Quando la modulazione serve per la trasmissione radio-

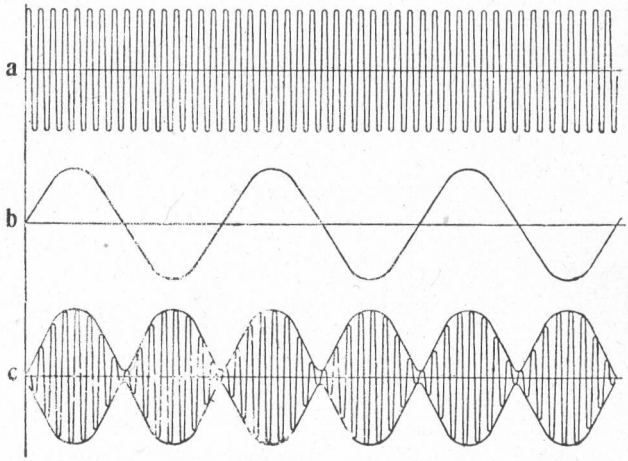


FIG. 140. - Come ha luogo la modulazione radiotelegrafica. Un'oscillazione di alta frequenza *a*), più un'oscillazione di bassa frequenza *b*) dànno luogo ad un'oscillazione di alta frequenza modulata *c*).

telegrafica, il segnale modulante è sinusoidale o press'a poco, e viene generato da una *cicalina* (1) o da un generatore di correnti di bassa frequenza.

Se una corrente di alta frequenza (diagramma *a* di fig. 140) viene portata ad interferire con una corrente di bassa frequenza (diagramma *b*), si ottiene un'oscillazione modulata che ha la forma indicata in *c*. Per la modulazione radiotelefonica il processo non è diverso. Il segnale modulante ha una forma note-

(1) La *cicalina* è un interruttore elettromagnetico il cui schema ricorda quello della suoneria dei campanelli elettrici. Al posto del martelletto vi è una lamina capace di vibrare rapidamente. Essa consente la periodica interruzione della corrente di una pila, in modo da trasformarla in corrente variabile.

volmente complicata e viene ottenuto nel circuito di un microfono, dinanzi al quale si parla o si emette un suono qualunque (1).

Indichiamo con I_m l'ampiezza del segnale modulante e con I_p quella dell'oscillazione portante. Si chiama *coefficiente di modulazione* (2) il rapporto

$$K = \frac{I_m}{I_p}$$

e si indica in percento.

Se $I_m = I_p$, risulta $K = 1$ e più comunemente si dice che il trasmettitore è modulato al cento per cento. Si cerca sempre di rag-

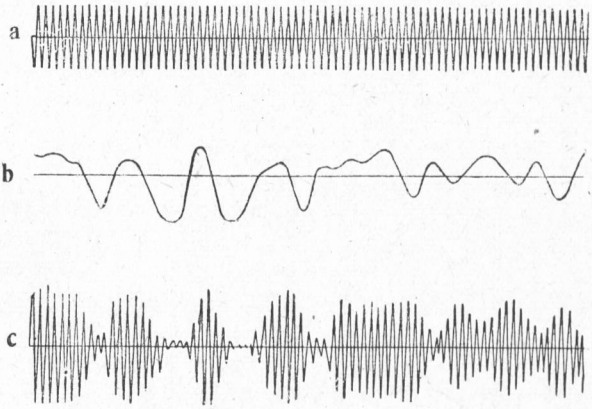


FIG. 141. - Lo stesso diagramma nel caso che il segnale modulante sia un'oscillazione microfonica.

giungere questa condizione nei moderni trasmettitori, perchè quando la modulazione è molto profonda, la ricezione è migliore.

Indichiamo con f_p la frequenza dell'onda portante e con f_m quella del segnale modulante. L'onda modulata non ha più una fre-

(1) Il sistema descritto si chiama *modulazione di ampiezza*, perchè agisce sull'ampiezza dell'oscillazione di alta frequenza. Non mancano altri sistemi, come quelli che agiscono sulla *frequenza* o sulla *fase* della corrente oscillante.

(2) Spesso si dice *profondità di modulazione*.

quenza sola, ma nella sua propagazione occupa un campo di frequenze che si estende tra i limiti $f_p - f_m$ e $f_p + f_m$. Nel caso della trasmissione radiotelefonica la modulazione è ottenuta con correnti a

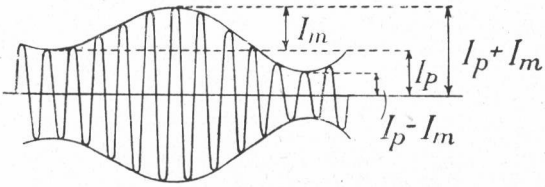


FIG. 142. - Il segnale modulante incide sull'onda portante e ne modifica l'ampiezza tra un massimo $I_p + I_m$ e un minimo $I_p - I_m$.

frequenza acustica che raggiunge almeno 5 mila cicli al secondo. L'onda del trasmettitore occupa, in questo caso, uno spettro di circa 10 mila cicli al secondo. Per evitare che due stazioni trasmittenti interferiscano e siano udite contemporaneamente, è necessario che le frequenze delle rispettive onde portanti si differenzino almeno di 10 mila periodi al secondo (1). In pratica si dice che ad ogni trasmettitore bisogna assegnare un certo *canale* di frequenze.

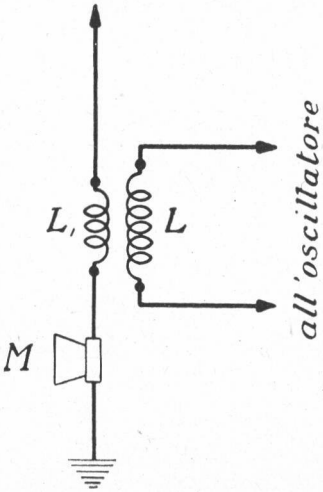


FIG. 143. - Sistema di modulazione per assorbimento dell'aereo.

83. - I diversi sistemi di modulazione. — La modulazione di un trasmettitore può essere ottenuta principalmente con quattro sistemi.

1) *Modulazione per assorbimento dall'aereo.* — In questo sistema di modulazione il microfono viene collegato direttamente sul circuito di aereo. Parlando dinanzi al microfono, la resistenza della capsula varia continuamente. Si produce così

(1) Per le stazioni di radiodiffusione, che trasmettono concerti, la differenza è mantenuta a 9 mila cicli al secondo.

una variazione della corrente oscillante di aereo che risulta perciò modulata col ritmo dei suoni.

Questo sistema di modulazione può servire solo per piccoli

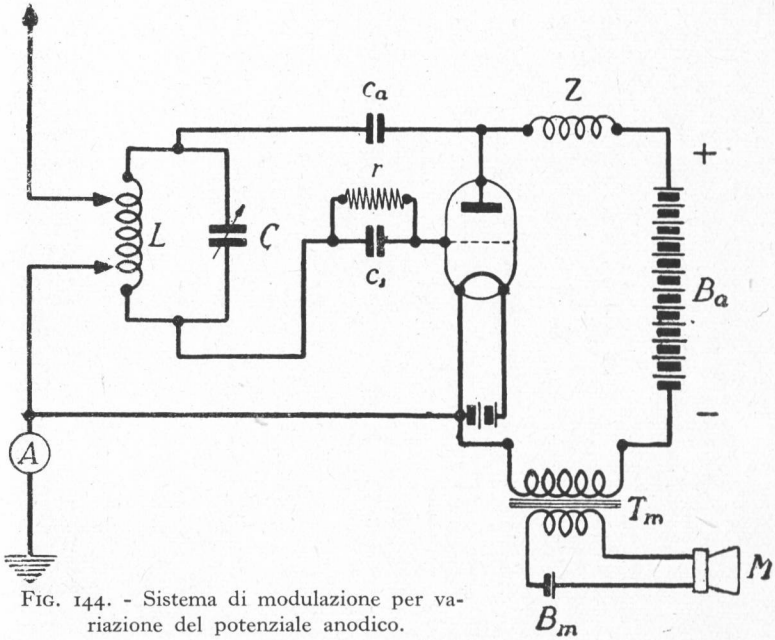


FIG. 144. - Sistema di modulazione per variazione del potenziale anodico.

trasmettitori, poichè la potenza messa in gioco dal microfono è minima.

2) *Modulazione per variazione della tensione anodica.* — In questo sistema il dispositivo modulatore (microfono, cicalino o generatore di bassa frequenza) è inserito nel circuito anodico della valvola oscillatrice a mezzo di un trasformatore di collegamento ad elevato rapporto. Quando si parla, si vengono a produrre tensioni indotte ai capi del secondario del trasformatore e il potenziale anodico della valvola oscillatrice resta modificato col ritmo della voce. La corrente oscillante nel circuito *LC* risente di queste variazioni e viene, quindi, modulata.

3) *Modulazione per variazione del potenziale di griglia.* —

In questo sistema il microfono o altro dispositivo modulatore è inserito nel circuito di griglia della valvola oscillatrice a mezzo di opportuno trasformatore di collegamento. Quando le vibrazioni sonore colpiscono la membrana del microfono, si producono tensioni indotte ai capi del secondario del trasformatore microfonico che, modificando il potenziale base della gri-

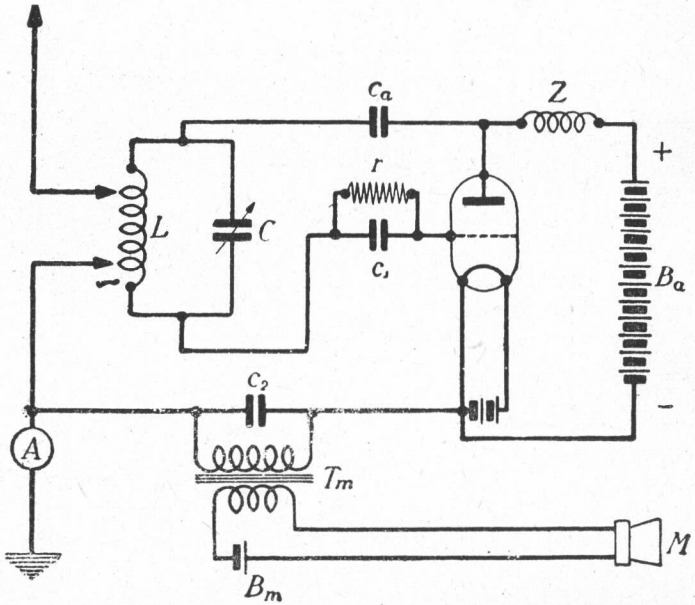


FIG. 145. - Sistema di modulazione per variazione del potenziale di griglia.

glia del tròdo col ritmo dei suoni, dànno luogo alla modulazione della corrente oscillante.

Questo sistema è più efficace del precedente perchè utilizza l'effetto amplificatore della valvola. In parallelo al secondario del trasformatore si collega un condensatore di piccola capacità per consentire il passaggio delle oscillazioni di alta frequenza.

4) *Modulazione sistema* HEISING. — È il sistema impiegato per modulare i grandi trasmettitori. È detto, pure, sistema *a impedenza di parola* o *a corrente costante.*

Il sistema utilizza due valvole identiche: una è l'*oscillatrice* e l'altra la *modulatrice*. L'impedenza Z_2 a nucleo di ferro deve essere scelta in modo che si opponga al passaggio di correnti variabili a frequenza acustica.

Quando non si parla al microfono, le correnti anodiche I_m

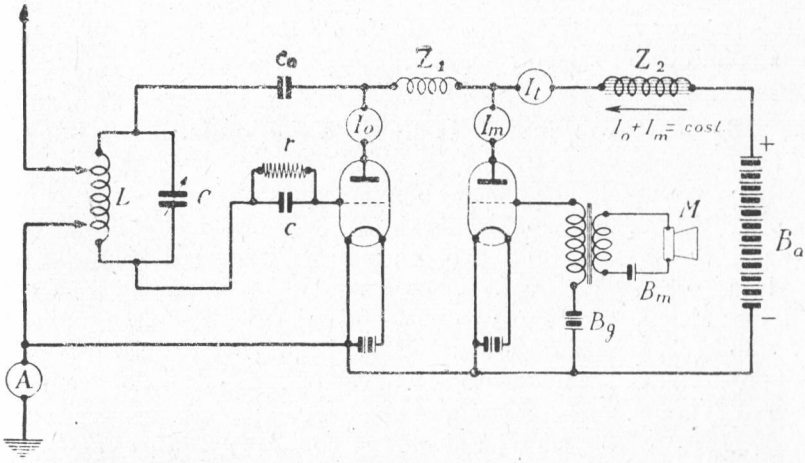


FIG. 146. - Modulazione sistema HEISING adatto per trasmettitori di grande potenza. Elemento caratteristico dello schema è l'*impedenza di parola* Z_2, destinata ad opporsi ad ogni variazione di corrente a frequenza acustica.

e I_o delle due valvole sono eguali. Parlando al microfono, si fa variare la tensione di griglia e corrispondentemente la corrente anodica della modulatrice; ma la bobina Z_2 impedisce che queste variazioni di corrente possano prodursi a spese della batteria. Esse allora si producono a spese della corrente anodica della valvola oscillatrice.

Così, quando la tensione di griglia aumenta anche la corrente anodica I_m aumenterà; la I_o diminuisce corrispondentemente. Le variazioni di corrente che allora si producono nel circuito anodico dell'oscillatrice seguono il ritmo del suono emesso dinanzi al microfono: e queste variazioni, risentite nel circuito oscillante LC, producono la modulazione delle correnti che in questo sono generate.

Quando la potenza del trasmettitore è molto elevata, il microfono non può modulare direttamente la valvola oscillatrice. Infatti per modulare al cento per cento, occorre una potenza di modulazione eguale a quella messa in gioco dal circuito oscillante. In questo caso è necessario amplificare il segnale modulante a mezzo di valvole dette *premodulatrici*, che in sostanza compiono la funzione di amplificare in bassa frequenza, secondo i noti schemi.

84. - Il problema della stabilità dell'onda. — Un buon trasmettitore deve irradiare un'onda di frequenza perfettamente costante. Non è facile ottenere questa condizione perchè ogni minima variazione delle caratteristiche dei circuiti oscillanti del trasmettitore provoca una variazione di frequenza della corrente generata. Le oscillazioni del filo di antenna a causa del vento fanno variare la capacità dell'aereo e modificano la frequenza generata. Influisce, pure, ogni variazione di temperatura del filamento delle valvole, della tensione anodica (1), ecc.

Una notevole stabilità si ottiene con l'uso di un *oscillatore pilota*. In questo caso s'impiega una valvola di piccola potenza (generalmente, del tipo a griglia schermo) alimentata da accumulatori e capace, quindi, di generare oscillazioni di frequenza costante. Queste però sono debolissime e devono essere amplificate, sino ad ottenere la potenza voluta. Si usano a tale scopo i noti schemi degli amplificatori di alta frequenza. Il circuito dell'oscillatore pilota viene schermato accuratamente per sottrarlo ad ogni influenza esterna che ne potrebbe alterare la stabilità.

Risultati migliori si ottengono controllando la frequenza dell'oscillatore a mezzo dei così detti *cristalli piezoelettrici* (2). Si

(1) Nei trasmettitori di grande potenza, l'alimentazione anodica non può essere ottenuta con batterie di pile o accumulatori, perchè si richiedono tensioni e potenze elevate. Si ricorre, allora, all'uso di raddrizzatori o di generatori rotanti i quali, però, non producono tensioni rigorosamente costanti. Confronta, pure, la nota 1 al n° 66 a pag. 122.

(2) Delle proprietà piezoelettriche di questi cristalli fu già detto a pag. 70.

tratta di cristalli naturali (segnatamente: il *quarzo* e la *tormalina*) che godono questa caratteristica proprietà. Dal cristallo si taglia una fetta seguendo determinate direzioni, e si racchiude questa tra due guance metalliche, come per farne un condensatore. Se il cristallo viene compresso secondo una certa direzione per-

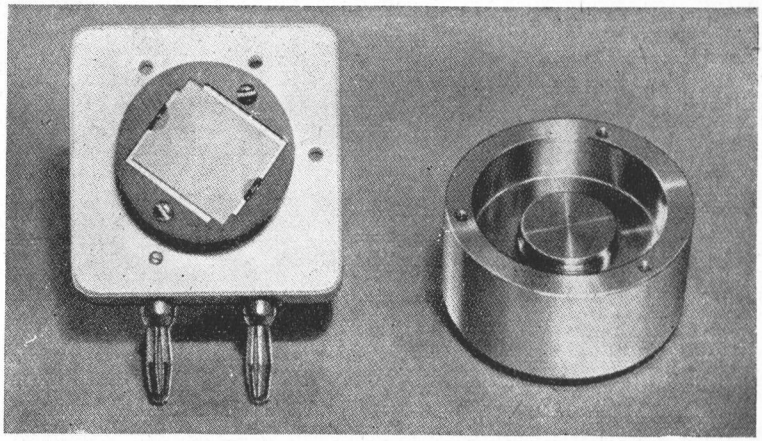


FIG. 147. - Cristalli di quarzo chiusi in custodia.

pendicolare alla congiungente delle facce, questo condensatore si carica spontaneamente, cioè si forma una d. d. p. tra le sue armature. Se poi il cristallo viene stirato in quella speciale direzione, le armature pure si caricano, ma in senso contrario al caso precedente.

Il fenomeno è reversibile, vale a dire, applicando al cristallo il potenziale di una batteria, il cristallo si accorcia o si stira, secondo il verso in cui è applicato il potenziale.

Se il cristallo viene sottoposto a una tensione alternata entra in vibrazione; se viene sottoposto a vibrazione, produce tra le armature un potenziale alternato. È interessante mettere in evidenza che per ogni cristallo esiste una determinata frequenza che dipende dal suo spessore, per cui queste oscillazioni meccaniche ed elettriche assumono la massima ampiezza e che si chiama *frequenza di risonanza* del cristallo.

Per rendere stabili le oscillazioni di una valvola, si collegano le due armature applicate al cristallo di quarzo tra griglia e filamento. In parallelo si dispone una resistenza (o una bobina) di fuga per evitare accumulo di elettroni sulla griglia che finirebbe col raggiungere il potenziale d'interdizione. Alla placca si collega un circuito oscillante *accordato sulla stessa frequenza del cristallo.*

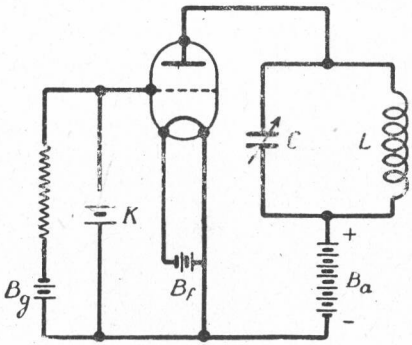


FIG. 148. - Oscillatore controllato da cristallo piezoelettrico.

Quando si accende la valvola il cristallo riceve dalla griglia un impulso di corrente, provocato dall'improvviso flusso di elettroni che, emessi dal filamento, investono la griglia stessa. Il cristallo entra allora in oscillazione meccanica e nello stesso tempo tra le armature si genera un potenziale oscillante.

La griglia della valvola riceve così tensioni alternativamente positive e negative e la corrente anodica, oscillando con la stessa frequenza, fornisce al circuito *LC* impulsi di energia atti a mantenerlo in oscillazione persistente.

Le oscillazioni si producono con la frequenza propria del cristallo (1) e sono assolutamente stabili. Unico elemento che può influenzare tale frequenza è la temperatura. Per ottenere un'onda molto stabile, si chiude il cristallo in un *termostato*, cioè in un apparecchio atto a mantenere la temperatura rigorosamente costante.

(1) La frequenza propria di un cristallo si calcola con la formula

$$f = \frac{2980}{s} \text{ (kilocicli al secondo)}$$

essendo s lo spessore del cristallo in mm.

Un cristallo di quarzo di 1 mm di spessore oscilla sulla lunghezza d'onda di circa 100 m.

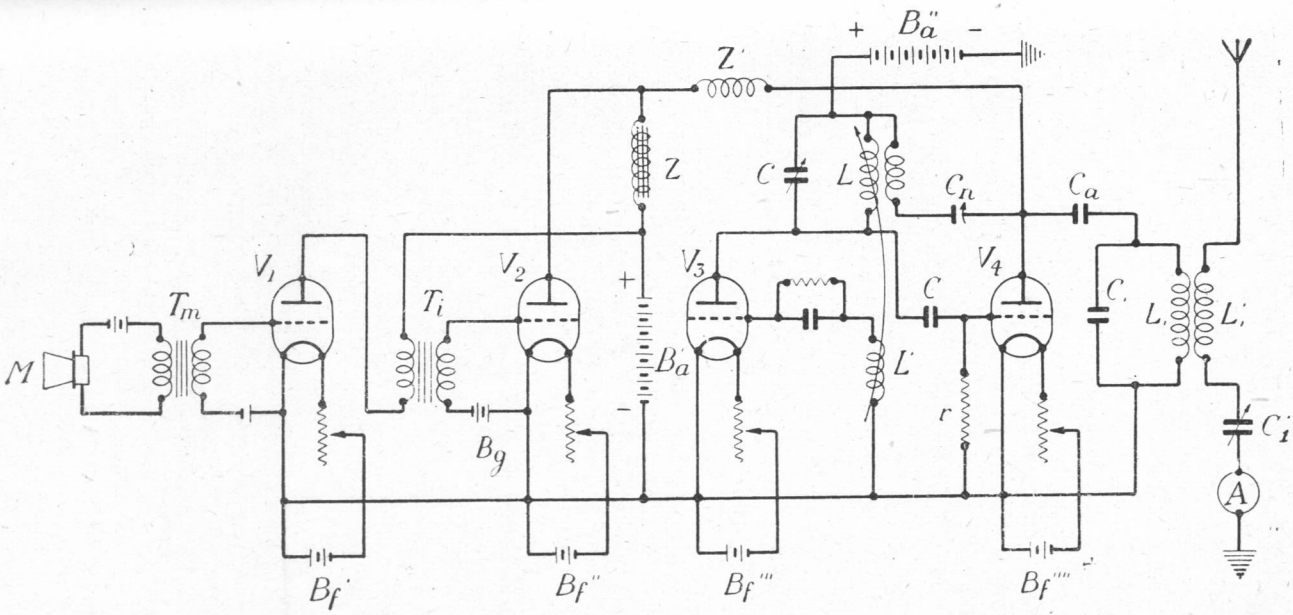


FIG. 149. - Un trasmettitore di media potenza. V_3 è la valvola oscillatrice pilota che funziona secondo lo schema MEISSNER ed è accoppiata alla valvola finale di potenza V_4 a mezzo del condensatore C. L'aereo è eccitato attraverso l'accoppiamento tra la bobina L_1 e L'_1. La valvola V_4 è modulata secondo il sistema HEISING dalla valvola V_2. La valvola V_1 premodulatrice, serve ad amplificare i segnali provenienti dal circuito microfonico. Lo stadio finale è neutralizzato. In pratica conviene stabilizzare le oscillazioni del pilota a mezzo di cristallo.

85. - Trasmettitori di media e grande potenza. — La fig. 149 illustra lo schema di un trasmettitore di media potenza.

Lo schema comporta:

a) *uno stadio pilota*, eventualmente controllato con cristallo di quarzo ad alimentazione separata con batteria. Come oscillatrice può essere impiegata una valvola a griglia schermo;

b) *uno stadio amplificatore di potenza*, con triodo neutralizzato per evitare oscillazioni parassite (n° 78), destinato ad amplificare le correnti generate dal pilota;

c) *uno stadio modulatore*, sistema HEISING;

d) *uno stadio premodulatore*, che permette di amplificare le deboli correnti microfoniche fino alla potenza richiesta dallo stadio finale.

La stazione è alimentata con generatori rotanti o con raddrizzatori a valvole (per le grandi potenze si usano raddrizzatori a vapori di mercurio).

L'uso dei cristalli di quarzo presenta qualche difficoltà quando si tratti di stabilizzare trasmettitori ad onda corta. Infatti, occorrerebbero cristalli tanto sottili da non potersi praticamente tagliare.

Si ricorre allora a questo sistema. Si realizza un oscillatore controllato con cristallo, capace di generare frequenze più basse (cioè onde più lunghe). Poi a mezzo di speciali circuiti detti *moltiplicatori di frequenza*, le oscillazioni vengono portate ad un valore più alto di frequenza.

CAPITOLO XI

RIVELAZIONE DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

86. - Notizie generali. — La ricezione delle onde elettromagnetiche viene realizzata a mezzo di speciali apparati i quali consentono l'ascolto dei segnali attraverso il ricevitore telefonico o l'altoparlante.

Un apparato ricevente comporta in ogni caso: un *sistema captatore* destinato ad essere sede di correnti oscillanti sotto l'azione del campo elettromagnetico generato dal trasmettitore; un così detto *rivelatore* che separa da queste correnti di alta frequenza quelle componenti di bassa frequenza atte a produrre un suono; un *ricevitore telefonico* o altoparlante.

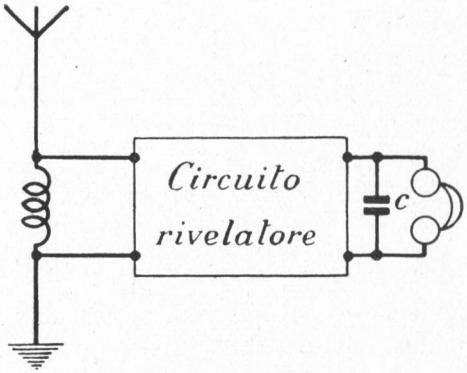


Fig. 150. - Disposizione schematica delle varie parti di un apparato ricevente. Le oscillazioni provenienti dall'aereo agiscono sul circuito rivelatore che separa da esse la componente a frequenza acustica atta a dare un suono attraverso il telefono.

Il sistema captatore, che può essere un'antenna o un telaio, si comporta come un circuito oscillante immerso nel campo elettromagnetico generato dal tra-

smettitore. Esso diventa sede di f. e. m. e, se è verificata la condizione di risonanza, il circuito entra in oscillazione ed è percorso da una corrente di discreta intensità (1).

Il fenomeno di risonanza spiega come sia possibile ascoltare, a nostro piacere, una o l'altra stazione trasmittente.

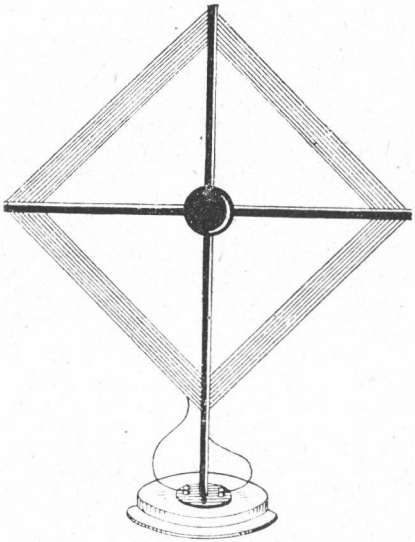


FIG. 151. - Il *quadro* o *telaio*, che può impiegarsi in luogo dell'antenna per captare le onde elettromagnetiche.

In fig. 152, T_1, T_2, T_3... sono diversi trasmettitori, ciascuno dei quali impiega una diversa lunghezza d'onda; l'antenna dell'apparato ricevente è influenzata contemporaneamente da tutte le onde elettromagnetiche presenti nello spazio circostante. Volendo ascoltare una sola di queste trasmissioni, basta mettere l'antenna ricevente *in risonanza* con la lunghezza d'onda di quella trasmittente. L'antenna è allora percorsa da corrente, mentre le altre trasmissioni non l'influenzano affatto.

Per ottenere questo, l'antenna ricevente contiene sempre un organo di regolazione, cioè una bobina o un condensatore variabile (generalmente è fissa la bobina e variabile il condensatore).

87. - Necessità della rivelazione. — Le correnti di alta frequenza che scorrono nell'antenna ricevente non sono capaci di produrre suoni attraverso il ricevitore telefonico e ciò per diverse ragioni.

Innanzi tutto l'impedenza dell'avvolgimento del telefono

(1) L'intensità di corrente nell'antenna ricevente è sempre molto piccola, frazione di microampere.

è molto elevata e quindi non permette il passaggio delle correnti di alta frequenza; se pure queste correnti riuscissero a passare, la membrana del ricevitore non sarebbe in grado di poter vibrare con frequenza così elevata (1); infine, se pure la membrana potesse vibrare tanto rapidamente, il nostro orec-

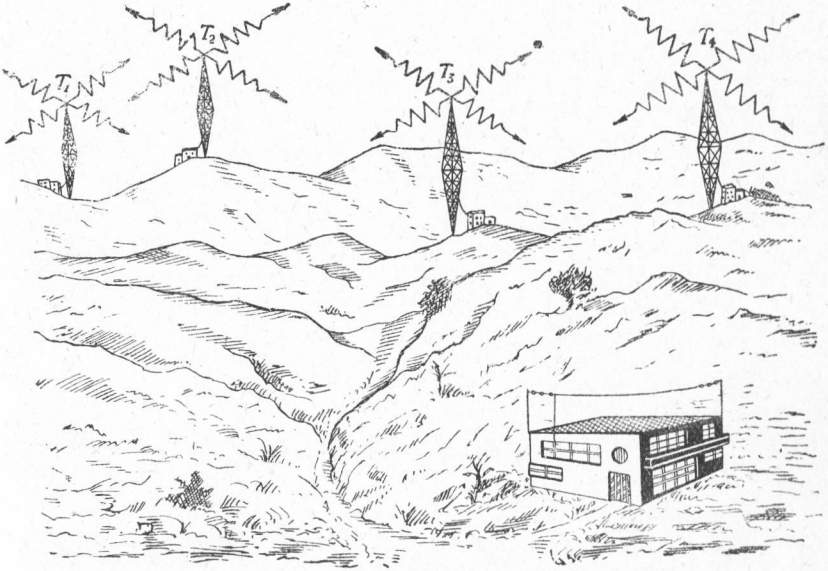


FIG. 152. - T_1, T_2, T_3 ... sono trasmettitori che irradiano onde elettromagnetiche di lunghezze diverse. L'antenna ricevente è influenzata contemporaneamente da tutte queste onde, ma riceve solo quella su cui è sintonizzata.

chio non potrebbe percepire nessun suono. È noto che le vibrazioni meccaniche di frequenza superiore a circa 16 mila periodi al secondo non sono udibili. E in ogni modo, quelle vibrazioni di alta frequenza non sono quelle che si tratta di percepire.

È necessario sottoporre le correnti oscillanti destate nell'antenna dal campo elettromagnetico ad uno speciale processo di

(1) Infatti l'*inerzia meccanica* della membrana impedisce ad essa di poter oscillare con una frequenza superiore ad un certo limite.

rivelazione o *demodulazione;* questo processo estrae dalla corrente di alta frequenza modulata quelle vibrazioni acustiche, cioè di bassa frequenza, che in partenza vi sono state impresse (n° 82).

A tale scopo s'impiegano opportuni dispositivi che si chia-

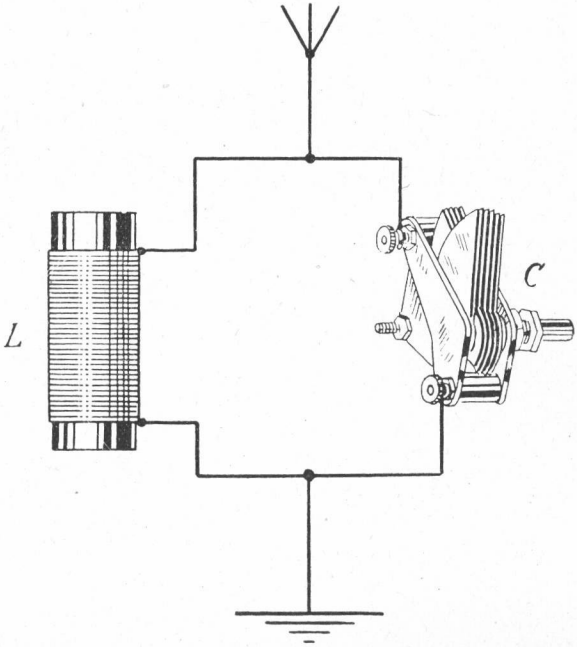


FIG. 153. - L'antenna ricevente viene messa in risonanza sulla lunghezza d'onda da ricevere a mezzo di una bobina *L* e di un condensatore *C* variabile.

mano *rivelatori* o *detector*. Possono funzionare come rivelatori alcuni contatti cristallini (galena, zincite, carborundum) e tutte le valvole termoioniche.

88. - Caratteristiche fondamentali di un rivelatore. — I rivelatori sono particolari dispositivi conduttori i quali però non rispettano la legge di OHM, valevole per tutti i circuiti elettrici.

Secondo tale legge, l'intensità di corrente che percorre un

circuito è direttamente proporzionale alla tensione applicata; inoltre, in tutti i circuiti, se s'inverte la tensione, anche il senso della corrente s'inverte.

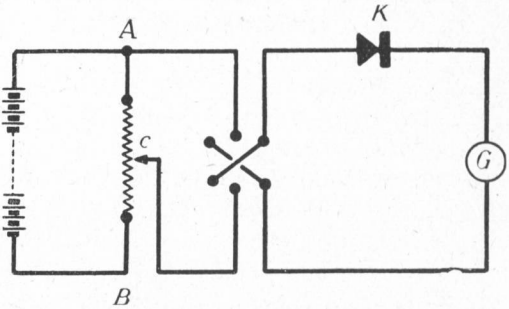


FIG. 154. - Circuito per ricavare la curva caratteristica di un rivelatore.

Se si disegna un diagramma, portando in ascisse le tensioni applicate al circuito e in ordinate l'intensità di corrente che lo percorre, si ottiene una retta. Nel caso di un rivelatore il fenomeno si presenta in maniera diversa. Realizziamo lo schema della fig. 154, nel quale è inserito il rivelatore *K* (per es. un cristallo di galena). Spostando il cursore *C* del

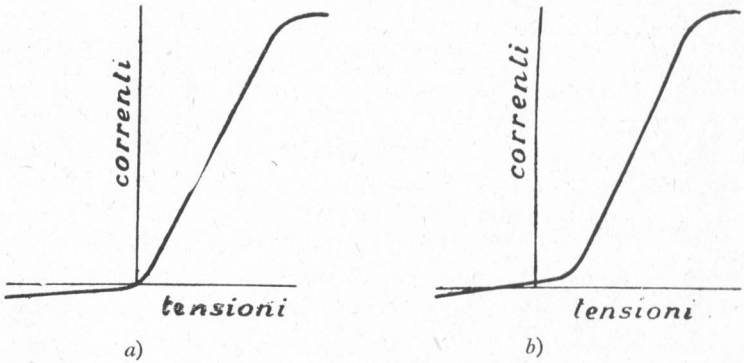


FIG. 155. - Curve caratteristiche di un cristallo rivelatore: *Ascisse:* tensioni applicate; *ordinate:* intensità di corrente.

potenziometro è possibile modificare la tensione applicata al rivelatore; manovrando l'invertitore si applica ad esso una tensione in senso contrario.

A mezzo di questo circuito è possibile misurare le intensità di corrente che passano attraverso il rivelatore per diversi va-

lori della tensione applicata e poi disegnare il diagramma. Esso si presenta com'è indicato in fig. 155 *a*.

Questa curva mette in evidenza due fatti importanti:

1) il rivelatore non rispetta la legge di OHM, perchè ad una tensione doppia non corrisponde una corrente esattamente doppia;

2) il rivelatore ha conducibilità in un senso spiccatamente maggiore che nell'altro.

Queste sono condizioni essenziali perchè un dispositivo possa funzionare come rivelatore. La curva di fig. 155 prende il nome di *caratteristica* del rivelatore, e il punto nel quale la curva cambia direzione, si chiama *ginocchio*. Non sempre si verifica che questo punto coincida con l'origine degli assi. In qualche caso è spostato in corrispondenza delle tensioni positive (fig. 155 *b*).

Perchè possa verificarsi la rivelazione, il funzionamento del dispositivo deve essere portato in corrispondenza del ginocchio.

89. - Rivelazione delle oscillazioni modulate. — Supponiamo di voler rivelare un'oscillazione persistente modulata. La forma della corrente che attraversa l'antenna sia quella di fig. 140 *c*.

Questa corrente passando attraverso la bobina inserita nel circuito di aereo (fig. 150), dà luogo ad una caduta di tensione e provoca ai capi della bobina stessa una d. d. p. che va ad agire sul rivelatore. Il funzionamento di questo deve essere scelto in corrispondenza del ginocchio. Il rivelatore è allora attraversato da correnti che però non riproducono esattamente la forma della tensione applicata perchè i tratti di curva caratteristica a sinistra e a destra del ginocchio non hanno la stessa inclinazione.

Esaminando bene la forma della corrente rivelata, si osserva che essa consta essenzialmente di due correnti di bassa frequenza e di una corrente di alta frequenza. La corrente di alta frequenza viene deviata attraverso un piccolo condensatore fisso che si collega in parallelo al ricevitore telefonico (1), come è indicato schematicamente in fig. 150. Le due correnti di bassa

(1) Generalmente, la capacità di questo condensatore è di 1000 $\mu\mu$f. Ma la sua inserzione non è essenziale perchè per il passaggio della corrente di alta frequenza basta la capacità ripartita tra le spire dell'avvolgimento del ricevitore telefonico.

frequenza risultano in opposizione, come nell'oscillazione originaria, ma quella positiva è maggiore di quella negativa. Esse, dunque, ammettono una risultante (tratteggiata nel diagramma della fig. 156) che, attraversando l'avvolgimento del ricevitore

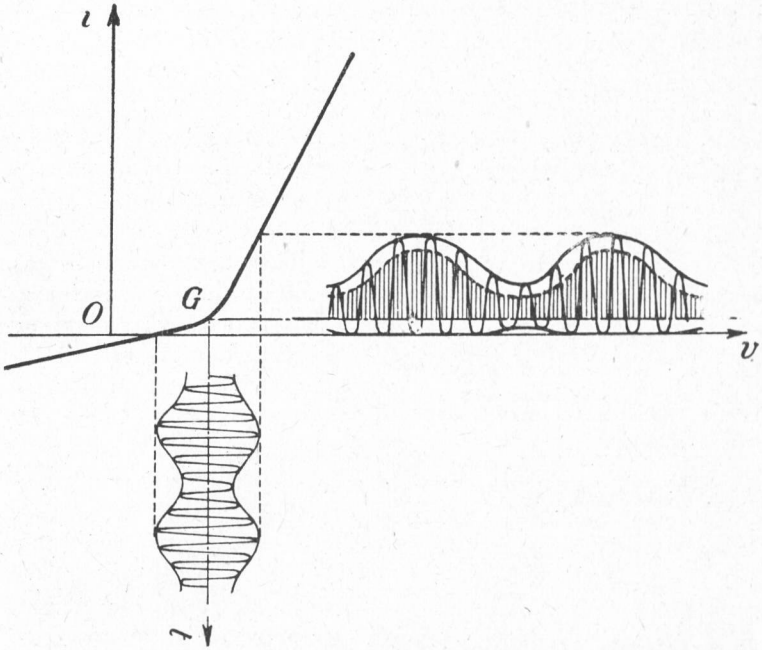


FIG. 156. - Questo diagramma mostra come avviene la rivelazione di una corrente modulata. L'oscillazione proveniente dall'aereo agisce attraverso il rivelatore il cui punto di funzionamento è scelto in corrispondenza del ginocchio. Si viene a stabilire una corrente di bassa frequenza (linea tratteggiata) che è la differenza tra le due componenti indicate in figura.

telefonico, è in grado di far vibrare la membrana di questo e di produrre quindi un suono.

È necessario mettere in evidenza che questa corrente di bassa frequenza ottenuta dopo il processo di rivelazione è della stessa forma del contorno che inviluppa l'oscillazione di alta frequenza proveniente dall'antenna. Pertanto nel ricevitore telefonico percepiremo un suono corrispondente a quello che

fu impresso nell'onda generata dal trasmettitore. E se la modulazione fu eseguita con la corrente di un microfono, riascolteremo i suoni o le parole pronunciati al microfono stesso.

90. - Rivelazione delle oscillazioni smorzate. — Il problema della rivelazione delle onde smorzate non è diverso da quello esaminato nel caso precedente.

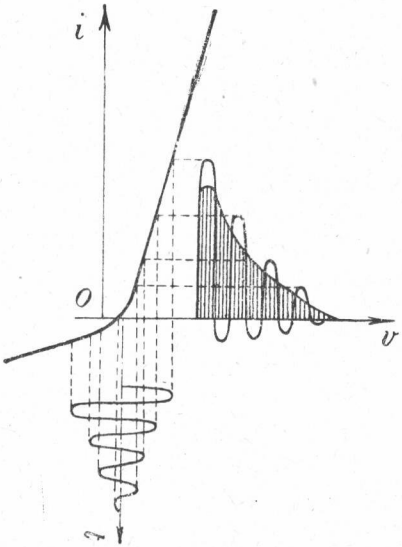


FIG. 157. - Rivelazione di un'oscillazione smorzata. Il procedimento è lo stesso di quello indicato in fig. 156. La parte tratteggiata del diagramma rappresenta la componente utile della corrente rivelata.

Ripetiamo il diagramma di fig. 156 supponendo che al ginocchio della curva sia applicata un'oscillazione smorzata.

Esaminando la forma della corrente rivelata si osserva che essa si riduce mediamente ad un impulso unico (tratteggiato nella fig. 157) capace di agire sulla membrana del ricevitore, e di farla vibrare una sola volta. Dunque, nell'ascolto di oscillazioni smorzate si ottiene un suono la cui altezza dipende dal numero di treni d'onda che il trasmettitore emette in un secondo. Resta giustificata la distinzione fatta al n° 81 fra *trasmettitori a scintilla rauca* e *trasmettitori a scintilla musicale.*

91. - Rivelazione delle oscillazioni persistenti non modulate. — Il problema della rivelazione di correnti non modulate è più complesso di quelli esaminati in precedenza. Infatti, dopo la rivelazione, queste correnti si presentano come è indicato nel diagramma *b*) di fig. 158. Si osservi che la corrente rivelata risulta dalla sovrapposizione di una corrente di alta

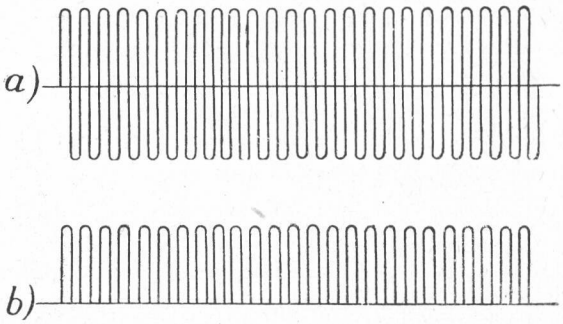


FIG. 158. - Un'oscillazione persistente continua, dopo la rivelazione, si presenta come indica la parte *b*) del diagramma. La componente utile questa volta è una corrente continua che non è capace di far vibrare la membrana del ricevitore telefonico.

frequenza e di una corrente continua. La prima viene eliminata attraverso il condensatore in parallelo al ricevitore telefonico; la seconda passa attraverso il telefono e produce un'attrazione permanente della membrana la quale pertanto non vibra e quindi non produce alcun suono. Si ascolta solo un *tic* all'inizio e alla fine di ciascun segnale, negli istanti in cui viene abbassato e alzato il tasto del trasmettitore.

Si conclude che la sola rivelazione non è sufficiente in questo caso a produrre la ricezione delle onde non modulate. Il problema è stato risolto, in un primo tempo, a questo modo. Nel circuito del rivelatore s'inserisce un cicalino o altro dispositivo elettromagnetico destinato a creare qualche centinaio d'interruzioni al secondo, in modo che la corrente rivelata d'intensità costante si trasformi in successivi im-

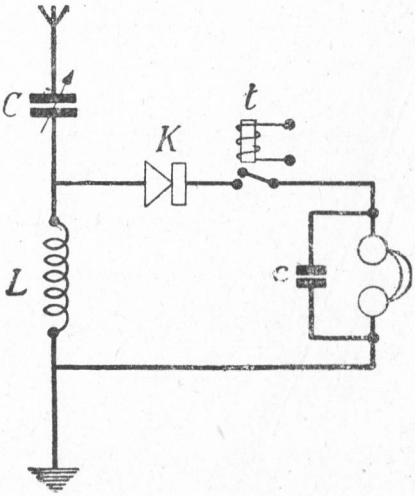


FIG. 159. - Un sistema disusato, ma didatticamente istruttivo, per rendere udibile al telefono la corrente continua che proviene dalla rivelazione di un'oscillazione persistente non modulata. Il *ticker t* è un interruttore a vibrazione che interrompe periodicamente la corrente.

pulsi capaci di produrre un suono al telefono. Questo sistema di rivelazione, detto con *ticker*, è stato abbandonato del tutto perchè poco pratico.

Oggi, la ricezione delle onde non modulate si esegue col *sistema dei battimenti.*

In elettrotecnica si insegna che, quando una corrente sinusoidale di frequenza f_1 e di ampiezza A interferisce in uno

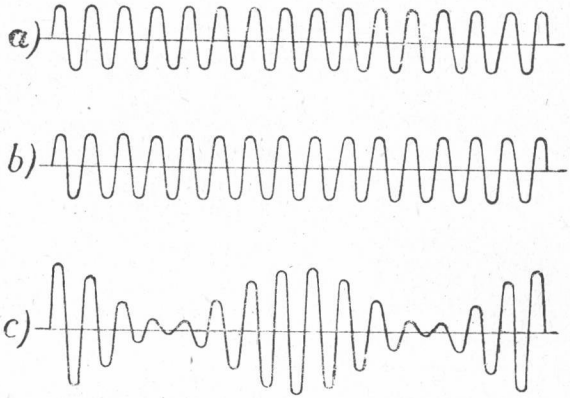


FIG. 160. - Il diagramma illustra come si forma il battimento tra due oscillazioni di frequenza diversa. In *a*) e *b*) oscillazioni componenti; in *c*) oscillazione risultante (*battimento*).

stesso circuito con un'altra corrente sinusoidale di frequenza f_2 e di ampiezza B, nasce in questo circuito una corrente risultante la cui frequenza è la media di f_1 e f_2 (cioè è $\frac{f_1 + f_2}{2}$) e la cui ampiezza è variabile tra il valore $A + B$ e il valore $A - B$. In altri termini, questa corrente risultante si presenta come se fosse stata modulata. La frequenza della modulazione è $f_1 - f_2$.

Questo principio viene poi applicato nel modo seguente.

La corrente oscillante di aereo interferisce nella bobina L con un'altra corrente oscillante indotta in essa da opportuno oscillatore.

La corrente, allora, si modula prima e poi subisce il processo solito della rivelazione. Per ottenere un suono al telefono è

necessario che tra la frequenza della corrente che giunge dall'aereo e la frequenza della corrente locale vi sia una differenza non superiore a 10 mila periodi al secondo perchè l'altezza della nota che si ascolta dipende appunto da questa differenza.

Il metodo descritto impiega un oscillatore separato per produrre i battimenti e si chiama perciò *rivelazione ad eterodina* (che significa: *con energia esterna al circuito rivelatore*). In seguito descriveremo un altro sistema nel quale viene impiegato un trìodo che funziona contemporaneamente come rivelatore e come oscillatore. Questo secondo sistema è detto *rivelatore ad endodina* (significa: *ad energia interna*).

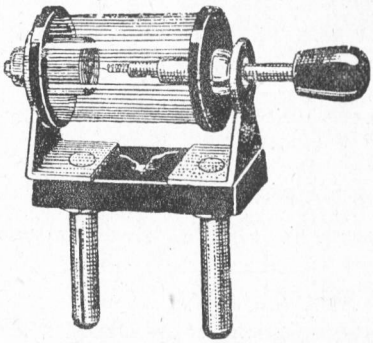


FIG. 161. - Rivelatore a cristallo in custodia di vetro. Il *baffo di gatto* è una spiralina di similoro a mezzo della quale bisogna ricercare il punto sensibile sul cristallo di galena.

Il metodo dei battimenti oltre a rendere possibile, in modo semplice e sicuro, la ricezione delle oscillazioni non modulate, presenta due vantaggi.

Innanzi tutto, è possibile modificare a piacere l'altezza del suono ricevuto al telefono, variando la frequenza dell'oscillatore locale. Ciò può riuscire particolarmente utile quando la ricezione sia infastidita da notevoli disturbi atmosferici o da qualche trasmettitore che impieghi lunghezza d'onda poco diversa da quella che si ascolta. In questo caso si regola l'altezza della nota in modo che essa si differenzi notevolmente dalla tonalità del segnale che reca disturbo. L'orecchio ben esercitato del radiotelegrafista può allora conseguire la *selezione acustica* dei segnali, in modo da seguire solo la trasmissione che lo interessa.

Un altro vantaggio deriva dal fatto che l'intensità del suono nel ricevitore dipende anche dall'intensità della corrente generata dall'oscillatore locale. Ciò rende possibile la ricezione di segnali deboli, provenienti da stazioni lontane.

92. - Rivelatori a cristallo. — Il rivelatore più semplice è costituito da un opportuno cristallo, naturale o artificiale, a

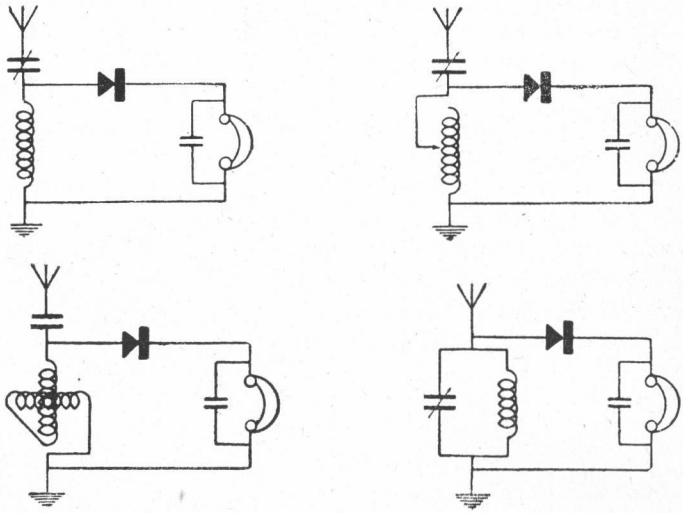


FIG. 162. - Diversi schemi di rivelatori a cristallo.

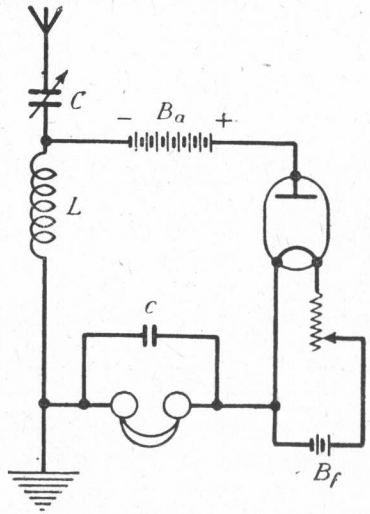


FIG. 163. - Circuito per la rivelazione a mezzo di diodo.

contatto con un metallo. Si può impiegare la *galena* (solfuro di piombo), la *zincite* (solfuro di zinco), il *carborundum* (carburo di silicio) e vari altri sali cristallizzati di rame o di ferro.

Il cristallo viene fissato in una capsula di metallo e contro di esso appoggia una punta o una sottile lamina metallica. La fig. 161 illustra un tipo di rivelatore molto impiegato.

In fig. 162 sono poi indicati alcuni schemi di circuiti riceventi con rivelatore a cristallo.

Gli apparecchi che utilizzano rivelatori a cristallo sono quasi del tutto scomparsi dall'uso comune, perchè poco sensibili, poco selettivi, e instabili nel funzionamento. Nel campo militare essi non vengono impiegati assolutamente (1).

93. - Rivelatori a dìodo. — La curva caratteristica di un dìodo presenta due ginocchi: si può utilizzare l'uno o l'altro di essi per far funzionare il dìodo come rivelatore. Conviene servirsi del ginocchio inferiore, cui corrisponde una tensione anodica più bassa, una minore corrente anodica e, quindi, minor dispendio di energia.

Lo schema impiegato è quello di fig. 163 e non richiede alcun chiarimento, perchè qui il dìodo si comporta proprio come il cristallo degli schemi precedenti.

94. - Rivelatori a trìodo. — Il sistema di rivelazione più impiegato è quello che fa uso di un trìodo o di valvole a più di tre elèttrodi.

La rivelazione con trìodo si può eseguire nel circuito di placca o nel circuito di griglia.

Per ottenere la rivelazione nel *circuito anodico*, si utilizza il ginocchio inferiore (ma si potrebbe utilizzare anche quello superiore) della caratteristica mutua della valvola. Una piccola batteria di pile fornisce alla griglia una lieve tensione, in modo che la valvola funzioni in corrispondenza del ginocchio della caratteristica.

Le tensioni oscillanti disponibili ai capi della bobina di aereo vanno ad agire sulla griglia della valvola e provocano corri-

(1) In America, durante il periodo di guerra, si è diffuso il cristallo di *germanio*, soprattutto per la rivelazione di onde corte.

spondenti variazioni della corrente anodica che, come è visibile nel diagramma di fig. 165, risultano dissimmetriche per azione della curvatura della caratteristica.

La corrente anodica della valvola risulta costituita da:

1) una componente *continua* (corrente di riposo della valvola);

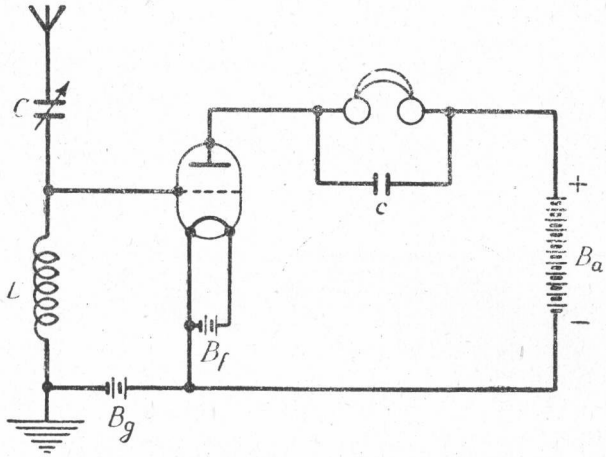


FIG. 164. - Tròdo impiegato come rivelatore nel circuito anodico.

2) una seconda componente *continua* (valore medio intorno al quale oscilla la corrente anodica);

3) una componente di *alta frequenza;*

4) una componente di *bassa frequenza.*

Le prime due correnti passano attraverso l'avvolgimento della cuffia senza produrre alcun suono al telefono; la terza viene eliminata attraverso il condensatore in parallelo al telefono; la quarta è l'unica componente utile capace di produrre un suono al ricevitore.

La rivelazione nel circuito di griglia (detta comunemente *per caratteristica di griglia*) si realizza con lo schema di fig. 166.

Si osservi nel circuito un dettaglio assai importante per il processo della rivelazione: alla griglia della valvola è collegato il condensatore *c* in parallelo alla resistenza *r*: insieme costituiscono la *falla di griglia.* Inoltre, il ritorno di griglia è connesso

all'estremo positivo del filamento. La griglia è allora leggermente positiva e il funzionamento della valvola ha luogo in corrispondenza del ginocchio della caratteristica di griglia. La tensione anodica deve essere scelta in modo che contemporaneamente la

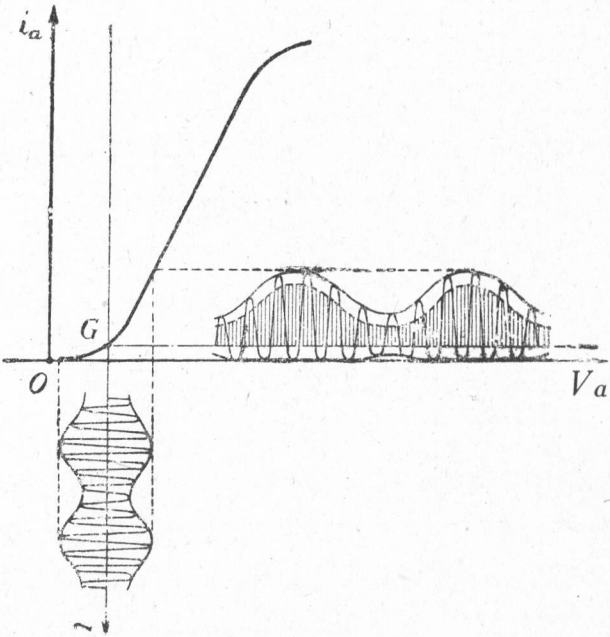


FIG. 165. - Il diagramma mostra come avviene la rivelazione utilizzando la curvatura della caratteristica mutua di un trìodo.

valvola funzioni nel punto di mezzo di una sua caratteristica mutua e sul ginocchio della caratteristica di griglia. Quando l'aereo è sede di correnti oscillanti, supponiamo modulate, queste vanno ad agire attraverso il condensatore *c* sulla griglia della valvola. Qui vengono rivelate, in modo che la valvola si comporta come un dìodo rivelatore e la sua griglia compie la funzione di ànodo.

La corrente rivelata, passando nel circuito di griglia, si separa nelle sue componenti. La componente di alta frequenza

attraversa il condensatore *c;* quella di bassa frequenza passa invece nella resistenza *r* e provoca in essa una caduta di tensione che varia col ritmo del segnale modulante. Prendono così

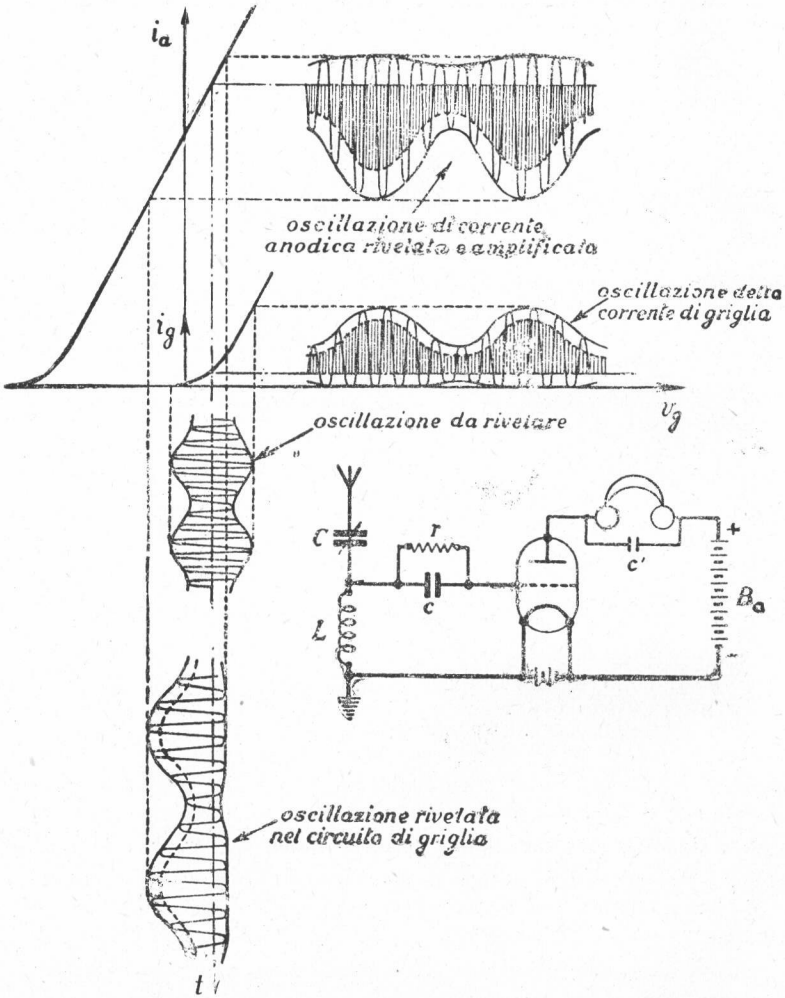


FIG. 166. - Il circuito mostra lo schema di un triodo rivelatore per caratteristica di griglia. Il diagramma mostra come avviene la rivelazione con questo sistema.

origine variazioni di potenziale di bassa frequenza che, applicate di nuovo alla griglia della valvola, vengono amplificate e dànno luogo a variazioni assai più ampie di corrente anodica.

In conclusione: quando il trìodo funziona come rivelatore

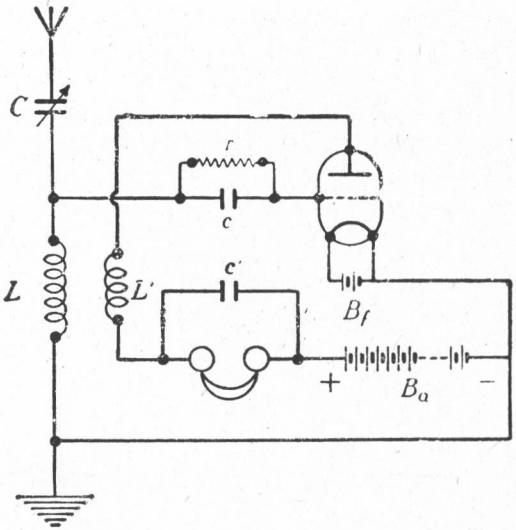


FIG. 167. - Trìodo rivelatore a reazione con accoppiamento elettromagnetico.

per caratteristica di griglia, si comporta come un dìodo rivelatore seguito da un trìodo amplificatore.

La rivelazione per caratteristica di griglia è assai più sensibile di quella nel circuito anodico, però dà minore purezza ed è facile che la valvola raggiunga la condizione di saturazione della corrente di griglia. Perciò viene impiegata solo se il segnale da rivelare è molto debole.

Oltre al trìodo si possono impiegare, per la rivelazione, le valvole a più di tre elèttrodi.

95. - Rivelatori a reazione. — Un trìodo può disimpegnare contemporaneamente anche più funzioni. Nel circuito di fig. 167 esso si comporta come rivelatore per caratteristica di griglia e

come oscillatore. Si tratta, dunque, di un rivelatore *ad endodina* di cui si è parlato al n° 91 e che si presta alla rivelazione delle onde persistenti non modulate.

Se l'accoppiamento tra le due bobine si mantiene piuttosto lasco, le oscillazioni non si possono innescare. In tali condi-

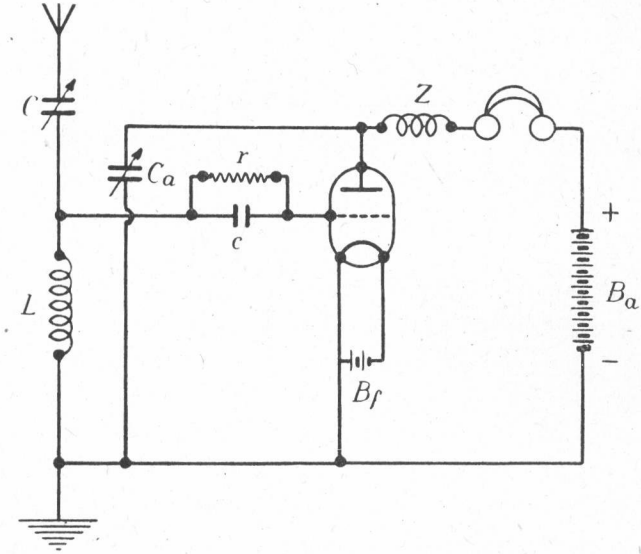


FIG. 168. - Triodo rivelatore a reazione con accoppiamento elettrostatico.

zioni il circuito si presta alla rivelazione delle oscillazioni non modulate, con notevole vantaggio rispetto ai sistemi già descritti.

Infatti, questo sistema consente di ottenere una notevole amplificazione, perchè utilizza un ritorno di energia dal circuito di placca a quello di griglia. Occorre solo evitare che l'accoppiamento tra le due bobine sia troppo stretto (1), altrimenti la valvola entra in oscillazione e si produce un battimento tra l'oscillazione locale e quella in arrivo che si traduce in un fischio assordante nel ricevitore telefonico.

La fig. 168 illustra poi lo schema di un rivelatore a rea-

(1) Cioè, oltre il limite d'innesco.

zione nel quale l'accoppiamento tra circuito di placca e circuito di griglia è realizzato a mezzo di un condensatore (*accoppiamento elettrostatico*).

La tendenza moderna è di evitare l'uso della reazione perchè la riproduzione acustica che si consegue è poco fedele. Infatti, il segnale impresso alla griglia della valvola risulta tanto ampio da portare la corrente di griglia al valore di saturazione.

Un altro grave inconveniente è dovuto al fatto che, entrando la valvola in oscillazione, l'aereo al quale l'apparato è connesso irradia, disturbando gli altri ricevitori situati nel raggio di qualche km.

CAPITOLO XII

APPARATI RICEVENTI

96. - Notizie generali. — La ricezione delle onde elettromagnetiche è possibile a mezzo di speciali apparati che vengono installati secondo la disposizione schematica di fig. 169. Ai morsetti d'ingresso fanno capo il filo d'antenna e quello di terra; ai morsetti di uscita si connette il ricevitore telefonico o

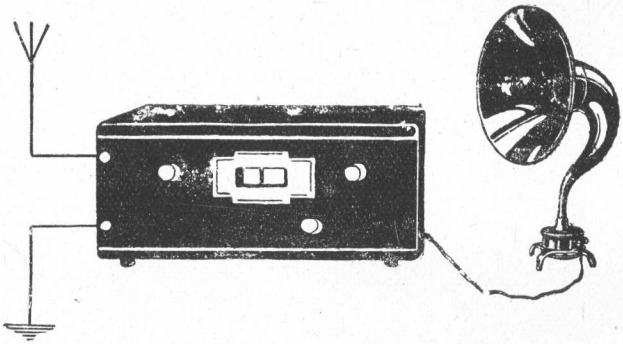


FIG. 169. - Disposizione schematica di un'installazione ricevente. *Da sinistra a destra:* sistema antenna-terra, ricevitore, altoparlante.

l'altoparlante. Altri morsetti servono per collegare le batterie di alimentazione: una di capacità elevata e bassa tensione occorre per il riscaldamento dei càtodi e un'altra di piccola capacità ed alta tensione serve per l'alimentazione anodica delle valvole.

La batteria di accensione è costituita, generalmente, da un accumulatore di 4 volt, della capacità di 30 ÷ 100 amperora. La batteria

anodica è formata da blocchi di pilette a secco di 100 ÷ 200 volt e della capacità di qualche amperora.

Queste batterie possono essere sostituite dagli *alimentatori* descritti al n° 51.

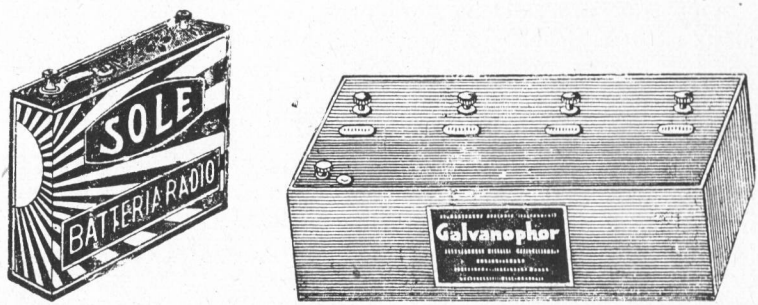


FIG. 170. - *A sinistra:* elemento di pila per comporre una batteria anodica (capacità circa 1 amperora, f. e. m. 9 volt). *A destra:* un blocco di pile a secco che fornisce circa 60 volt.

Caratteristiche fondamentali di un ricevitore sono: la sua *sensibilità;* la *selettività;* la *potenza di uscita;* la *purezza* o *fedeltà di riproduzione.*

La *sensibilità* di un ricevitore è l'attitudine che esso possiede a permettere l'ascolto di segnali da stazioni deboli e lontane, in modo da realizzare una buona ricezione, anche quando il campo elettromagnetico che investe l'antenna sia di debole intensità.

La *selettività* rappresenta l'attitudine di un ricevitore a separare due trasmissioni le cui lunghezze d'onda siano poco diverse, in modo da rendere possibile la ricezione di una di esse, senza che l'altra interferisca disturbando la buona comprensione dei segnali (1).

La *potenza di uscita* è misurata dalla potenza elettrica modulata, espressa in watt o milliwatt, che la valvola finale può fornire al tele-

(1) In pratica, questa caratteristica viene stabilita dal rapporto tra la variazione di frequenza che subisce l'accordo del ricevitore per una certa rotazione del condensatore di sintonia e l'angolo di cui si è fatto ruotare il condensatore stesso, espresso in gradi centesimali.

Questo rapporto prende il nome di *acutezza di sintonia* e viene misurato in kilocicli al secondo per grado.

fono o altoparlante, quando in entrata al ricevitore sia applicato un segnale d'intensità normale.

Infine, la *purezza di riproduzione* rappresenta l'attitudine posseduta da un ricevitore a dare una perfetta riproduzione acustica, priva di ogni distorsione.

Opportune prove di laboratorio permettono di stabilire e misurare queste caratteristiche.

Organo essenziale di ogni apparato ricevente è il *rivelatore* destinato a separare dalle correnti oscillanti di aereo le componenti a frequenza acustica, udibili a mezzo del telefono. Però, oltre alla rivelazione, conviene operare anche un'adeguata amplificazione dei segnali, sia prima della rivelazione (amplificazione di alta frequenza) che dopo (amplificazione di bassa frequenza).

In genere, l'amplificazione di alta frequenza permette di realizzare un'elevata sensibilità, mentre quella di bassa frequenza accresce la potenza di uscita. La sintonia è poi tanto più acuta, quanto maggiore è il numero degli stadi accordati che precedono il rivelatore. Per questa ragione, uno o più stadi di amplificazione di alta frequenza aumentano sia la sensibilità che la selettività del ricevitore. Infatti, ogni stadio in alta frequenza richiede un separato circuito accordato.

In pratica una selettività eccessivamente acuta nuoce alla qualità acustica perchè produce il taglio delle bande laterali della modulazione e quindi elimina molte frequenze necessarie per la buona riproduzione dei suoni.

Le diverse valvole di un ricevitore possono essere raggruppate secondo due schemi fondamentali diversi.

Nei ricevitori ad *amplificazione diretta*, il segnale che giunge dall'aereo viene amplificato senza che ne siano alterate la forma e la frequenza; passa, poi, allo stadio rivelatore che lo trasforma in segnale acustico; questo, infine, viene amplificato in bassa frequenza fino a raggiungere il livello di potenza che si richiede in uscita.

Attualmente, sono molto più impiegati (anzi, potremmo dire, esclusivamente impiegati) i ricevitori *a cambiamento di frequenza*, detti pure *supereterodine*.

In questi ricevitori i segnali che giungono dall'aereo, qualunque sia la loro frequenza, vengono trasformati in oscillazioni di frequenza fissa, compresa generalmente tra 100 mila e 500 mila

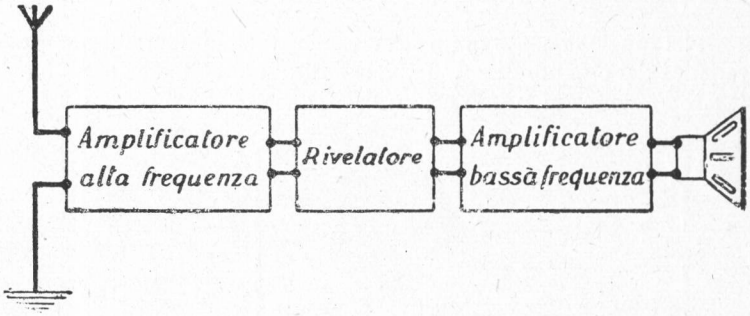


FIG. 171. - Schema elementare di un ricevitore ad amplificazione diretta.

periodi al secondo (*oscillazione di frequenza intermedia*). Il segnale così ottenuto viene, quindi, amplificato a mezzo di uno o più stadi di media frequenza, poi rivelato e, infine, amplificato in bassa frequenza.

Con gli apparecchi supereterodina si ottengono molti van-

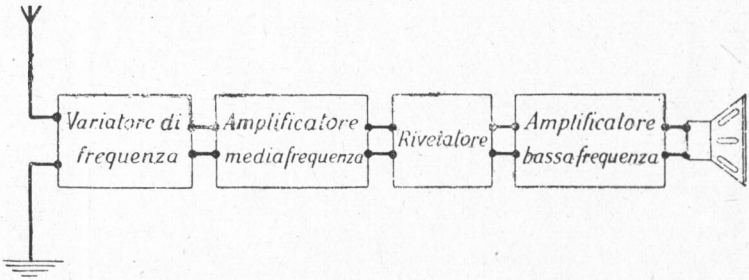


FIG. 172. - Schema elementare di un ricevitore a cambiamento di frequenza.

taggi rispetto ai ricevitori del tipo precedente: infatti non è necessaria alcuna manovra di condensatori di sintonia degli stadi dell'amplificatore intermedio; il rendimento conseguibile nell'amplificazione intermedia è notevole perchè l'amplificatore

è particolarmente studiato per amplificare una sola frequenza; la selettività che si raggiunge è molto acuta, grazie al notevole numero di stadi accordati.

Nel funzionamento di un ricevitore ha molta importanza la caratteristica del circuito di entrata, vale a dire il circuito che serve a collegare l'antenna al primo stadio del ricevitore.

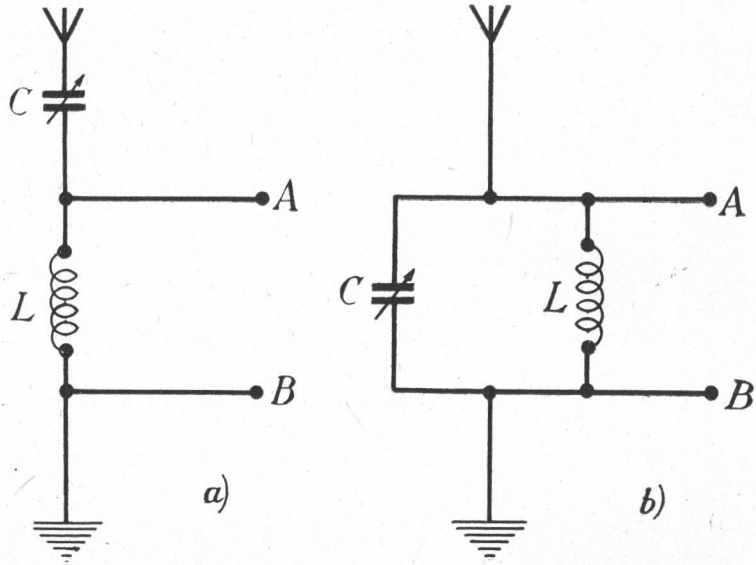


FIG. 173. - Due possibili schemi di collegamento diretto del ricevitore all'aereo. In *a*) con condensatore in serie e in *b*) con condensatore in derivazione.

Il sistema più semplice è il collegamento *diretto*: l'antenna e la terra fanno capo ad un circuito oscillante. Si dispone il condensatore in serie oppure in derivazione alla bobina (1). Il rendimento di questo sistema è elevato, ma la selettività è scarsa.

(1) Nel primo caso, la capacità della bobina risulta in serie a quella dell'antenna e la capacità risultante del sistema è piccola. Il contrario si verifica nel secondo caso, essendo la capacità della bobina in derivazione a quella dell'aereo.

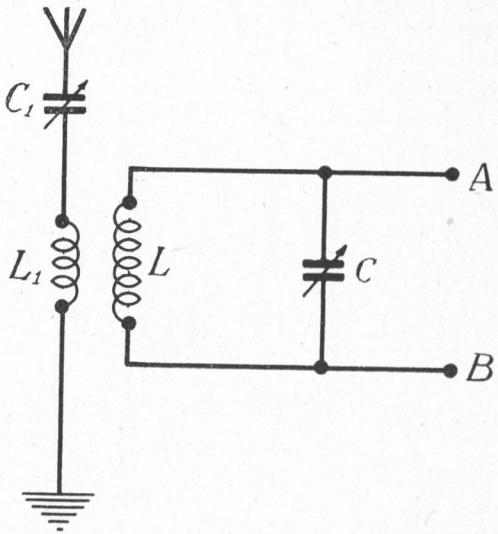


FIG. 174. - Collegamento a trasformatore di alta frequenza. Il trasformatore è senza nucleo di ferro ed è costituito da alcune decine di spire avvolte sopra un tubo isolante.

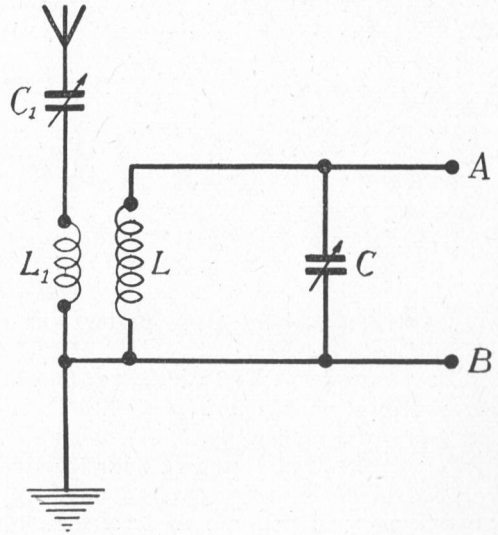


FIG. 175. - Collegamento all'aereo a mezzo di autotrasformatore.

Un altro sistema di collegamento è detto *a trasformatore di alta frequenza* o di TESLA. Il trasformatore è costituito da due bobine avvolte sopra un tubo di cartone verniciato o di ebanite. Il primario di poche spire è inserito nel circuito di antenna, mentre i capi *A* e *B* del secondario si collegano alla griglia e al filamento della prima val-

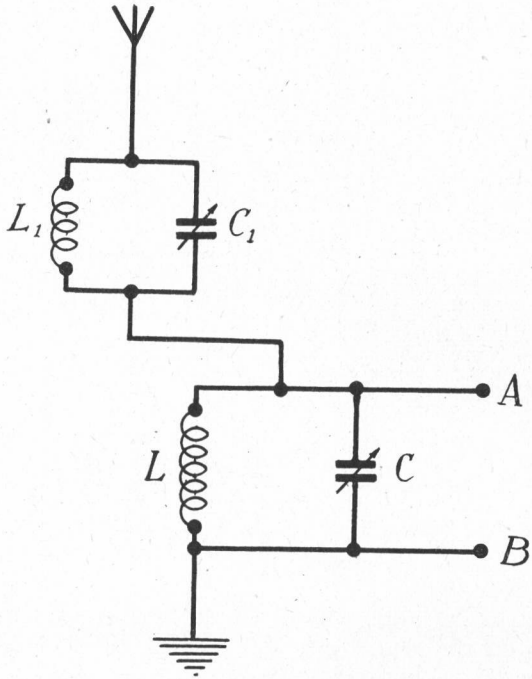


FIG. 176. - Un *circuito trappola* inserito tra l'antenna e il ricevitore permette di eliminare un segnale disturbatore.

vola. Il sistema permette di conseguire una sintonia molto acuta ma il rendimento è basso.

Assai usato è lo schema di fig. 175 che illustra il cosidetto accoppiamento BOURNE, ad autotrasformatore. L'antenna si lascia disaccordata e si mette in sintonia solo l'avvolgimento secondario.

Per ottenere una sintonia molto acuta si ricorre, poi, ai *circuiti trappola* e ai *filtri*. I primi servono ad evitare che al ricevitore pervenga un'oscillazione di determinata frequenza, capace di disturbare l'ascolto e sono costituiti da un semplice circuito oscillante collegato

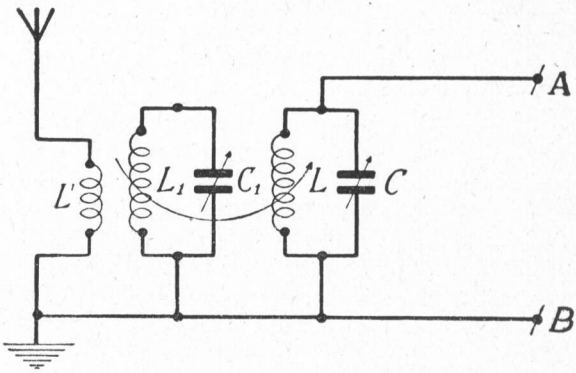


FIG. 177. - Un circuito accordato inserito tra l'aereo e il ricevitore rende più acuta la curva di sintonia ed agisce come filtro, favorendo il passaggio della sola frequenza su cui esso è accordato.

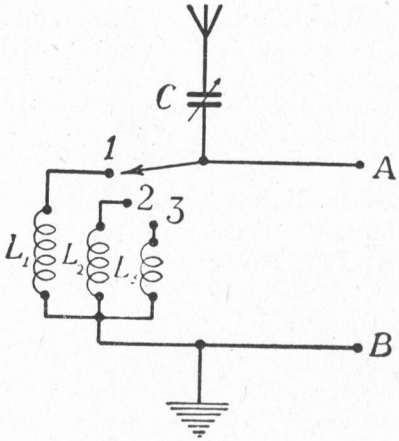


FIG. 178. - Nei ricevitori plurionda un commutatore collega, nel circuito di aereo, una bobina di maggiore o minore induttanza, secondo il campo d'onda su cui si desidera sintonizzare il ricevitore.

in serie all'antenna. Se questo circuito è accordato sulla frequenza che si vuole eliminare, esso presenta alle correnti di questa frequenza un'impedenza elevatissima e ne ostacola il passaggio al ricevitore.

Invece, un filtro è un circuito oscillante intermedio che s'inserisce tra l'aereo e il ricevitore e che si accorda sulla stessa frequenza dell'oscillazione che si vuol ricevere. Siccome l'acutezza di sintonia cresce col numero dei circuiti oscillanti accordati, si ottiene in tal modo una notevole selettività.

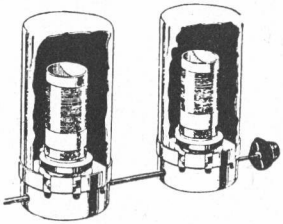


FIG. 179. - Il *commutatore d'onda* esclude una bobina per una determinata lunghezza d'onda e ne include un'altra per lunghezza d'onda diversa.

Speciali sistemi di collegamento sono costituiti dai *filtri di banda* la cui curva di selettività è rettangolare e che quindi consentono un'amplificazione uniforme di tutte le frequenze contenute nella banda che passa al ricevitore.

Alcuni tipi di ricevitori permettono l'ascolto di una gamma molto estesa di lunghezze d'onda (per es.: onde corte, medie e lunghe). In tal caso il circuito oscillante è costituito da un condensatore variabile che si può collegare a volontà con bobine di diversa induttanza (fig. 178). Un commutatore, manovrabile dall'esterno, permette d'inserire a volontà la bobina relativa ad una determinata gamma d'onda. Questi ricevitori vengono chiamati *plurionda*.

97. - Ricevitori ad amplificazione diretta. — Gli schemi di fig. 164 e 166 possono essere utilizzati per la costruzione di piccoli ricevitori ad una sola valvola che, naturalmente, compie la funzione di rivelatore.

Usando un trìodo ad elevata pendenza, o meglio un pèntodo e facendolo funzionare come rivelatore per caratteristica di griglia con reazione, è possibile conseguire una notevole sensibilità, tanto da permettere l'ascolto di stazioni trasmittenti situate nel raggio di parecchie centinaia di chilometri.

La fig. 180 illustra lo schema di un ricevitore a due valvole, la prima rivelatrice per caratteristica di griglia a reazione e la seconda amplificatrice di bassa frequenza con collegamento a trasformatore.

In fig. 181 è indicato lo schema di un ricevitore a tre valvole. La prima è un tètrodo a griglia schermo e funziona come amplificatrice di alta frequenza con collegamento a trasfor-

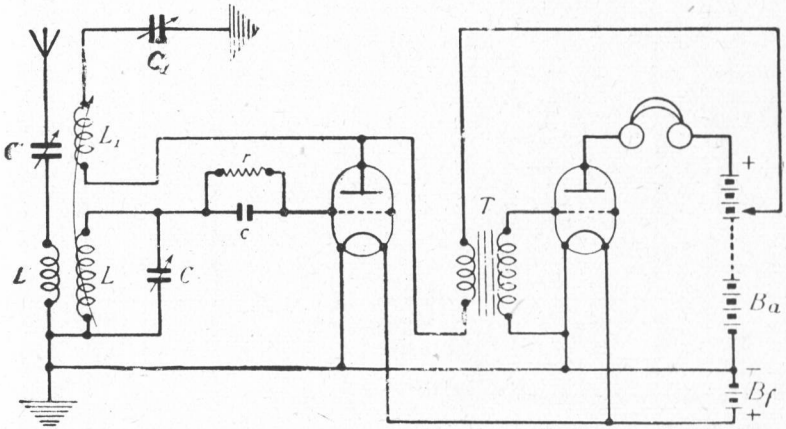


FIG. 180. - Schema di ricevitore a due valvole alimentato da batterie. La 1ª valvola funziona come rivelatrice per caratteristica di griglia con reazione mista e la 2ª valvola come amplificatrice di bassa frequenza. Il collegamento tra le due valvole è a trasformatore.

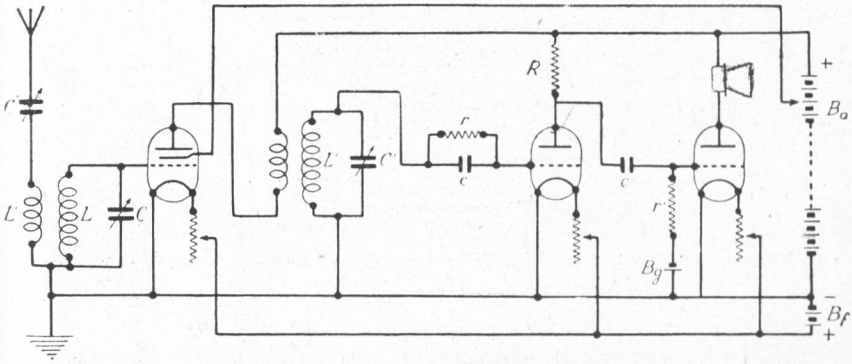


FIG. 181. - Schema di ricevitore a tre valvole ad amplificazione diretta. La prima valvola, del tipo schermato, funziona come amplificatrice di alta frequenza, la seconda come rivelatrice per caratteristica di griglia e la terza come amplificatrice di bassa frequenza.

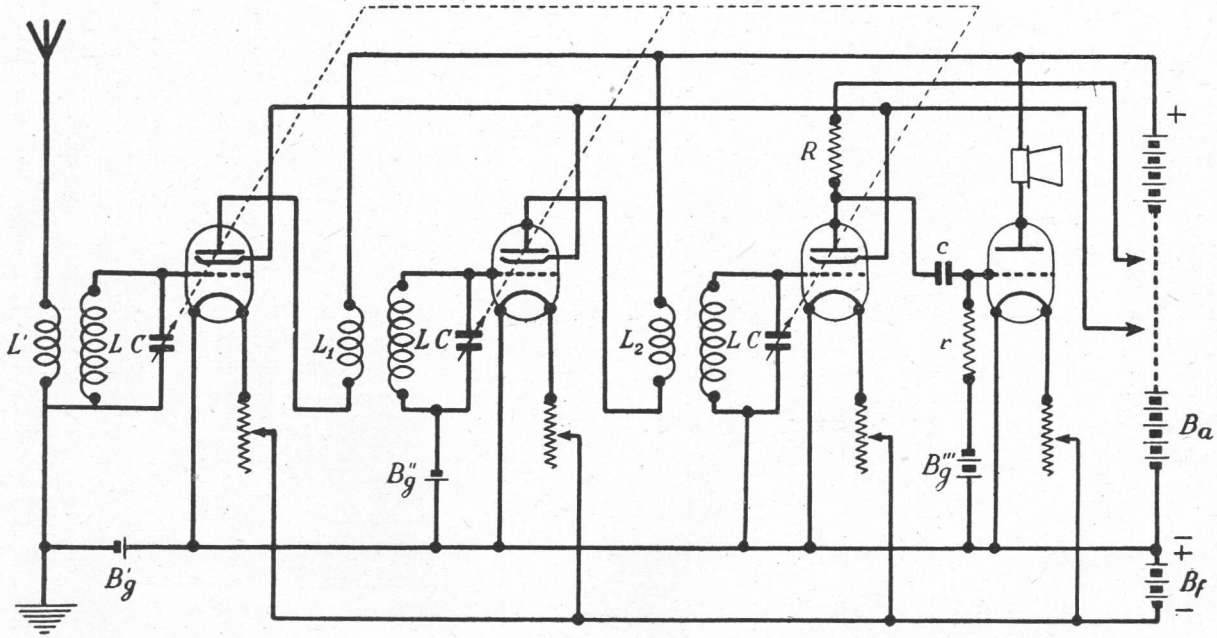


FIG. 182. - Ricevitore a quattro valvole a batterie. Le prime due sono amplificatrici di alta frequenza, la terza è rivelatrice e la quarta amplificatrice di bassa frequenza. Il collegamento tra la 3ª e la 4ª valvola è del tipo a resistenza-capacità.

matore. La seconda valvola è rivelatrice per caratteristica di griglia; la terza è amplificatrice di bassa frequenza con collegamento a resistenza-capacità.

La fig. 182 illustra lo schema di un ricevitore a quattro valvole: le prime due sono tètrodi in funzione di amplificatori di alta frequenza con collegamento a trasformatore con secondario accordato; la terza valvola è un tètrodo rivelatore per caratteristica anodica e l'ultima valvola è un trìodo amplificatore di bassa frequenza, con collegamento a resistenza-capacità.

I ricevitori descritti sono alimentati da batterie che provvedono sia a fornire la corrente di accensione dei càtodi sia le tensioni anodiche per le valvole. È possibile, però, ottenere l'alimentazione anche con la corrente fornita dalla rete di illuminazione. A tale scopo si usano le valvole *a riscaldamento indiretto* descritte al n° 60 (fig. 100); alla tensione anodica si provvede a mezzo di raddrizzatori a dìodo.

La fig. 183 è lo schema di un ricevitore a due valvole (rivelatrice e amplificatrice di bassa frequenza) alimentato integralmente con la corrente alternata della rete d'illuminazione.

Il *trasformatore di alimentazione* T_a fornisce le tensioni occorrenti. I capi di uno dei secondari si collegano ai filamenti delle valvole.

Il potenziale negativo di griglia della valvola finale è ottenuto per caduta di tensione provocata dal passaggio della corrente anodica attraverso la resistenza che fa capo al centro del secondario di accensione. Il condensatore c in parallelo a questa resistenza consente il passaggio della componente variabile della corrente anodica.

98. - Ricevitori a cambiamento di frequenza. — Abbiamo già detto delle caratteristiche di questo tipo di ricevitore nel quale il segnale in arrivo dall'aereo è trasformato in un'oscillazione di frequenza fissa che viene ulteriormente amplificata.

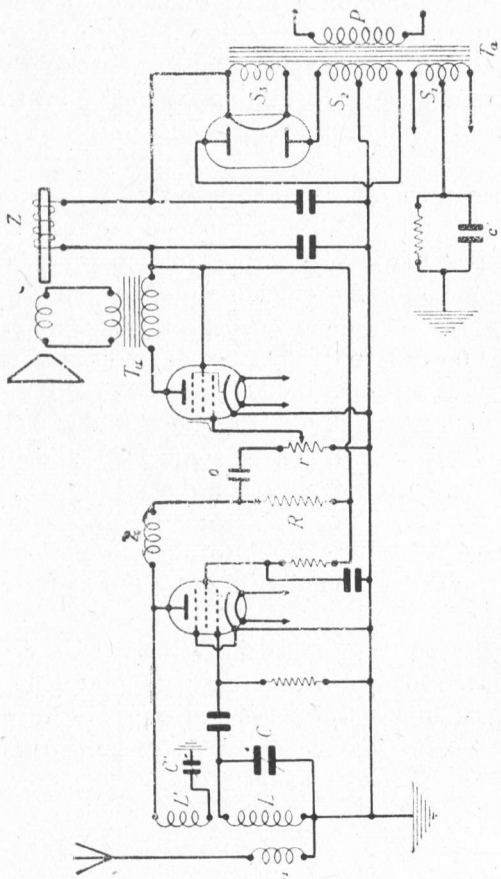


FIG. 183. - Lo schema di questo ricevitore non è diverso da quello di fig. 180. La prima valvola è un pèntodo schermato di elevata resistenza interna che funziona come rivelatore per caratteristica di griglia. La reazione accresce di molto la sensibilità. La seconda valvola è un pèntodo di bassa resistenza interna che funziona come amplificatore di bassa frequenza con collegamento a resistenza-capacità. L'alimentazione del ricevitore è ricavata integralmente dalla rete a c. a.

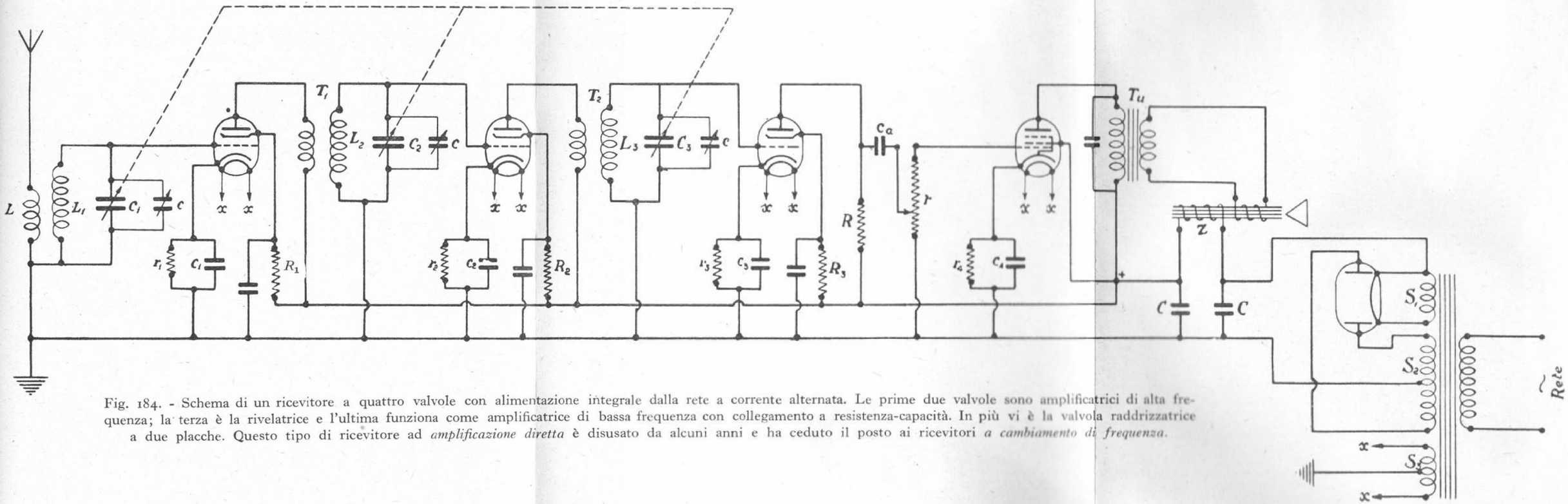


Fig. 184. - Schema di un ricevitore a quattro valvole con alimentazione integrale dalla rete a corrente alternata. Le prime due valvole sono amplificatrici di alta frequenza; la terza è la rivelatrice e l'ultima funziona come amplificatrice di bassa frequenza con collegamento a resistenza-capacità. In più vi è la valvola raddrizzatrice a due placche. Questo tipo di ricevitore ad *amplificazione diretta* è disusato da alcuni anni e ha ceduto il posto ai ricevitori *a cambiamento di frequenza*.

La fig. 185 illustra il circuito di principio del variatore di frequenza del tipo supereterodina e la fig. 186 ne illustra il diagramma di funzionamento.

La valvola V_2, detta *oscillatrice locale*, collegata secondo lo schema classico di MEISSNER, genera correnti oscillanti che

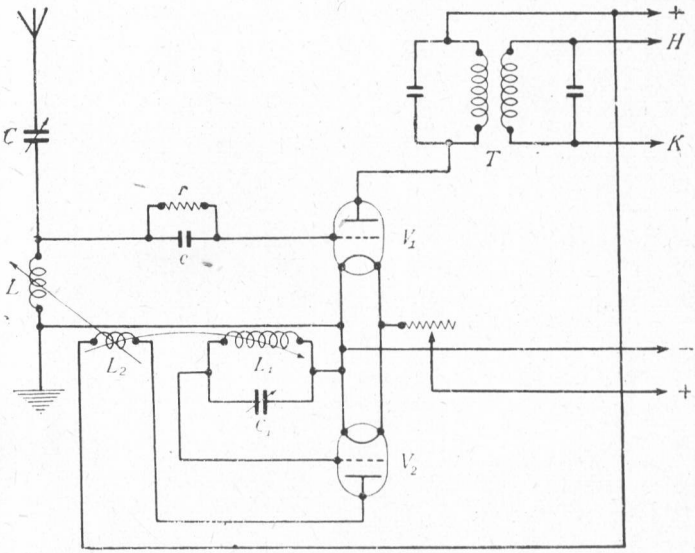


FIG. 185. - Come viene ottenuto il cambiamento di frequenza col sistema supereterodina.

vengono impresse, attraverso l'accoppiamento esistente tra L e L_2, nella bobina L. In questa interferiscono le oscillazioni in arrivo dall'antenna di frequenza f_1 e quelle locali prodotte dalla valvola V_2 di frequenza f_2. Si produce, allora, un battimento (vedi n° 91) e cioè si ottiene un'oscillazione modulata con frequenza $f = f_1 - f_2$. Nel diagramma di fig. 186 in *a*) è rappresentata l'oscillazione in arrivo e in *b*) quella locale. Il battimento che si produce è indicato in *c*).

La valvola V_1, detta *prima rivelatrice*, opera la rettificazione dei battimenti (diagramma *d*), separando dall'inviluppo l'oscillazione di frequenza f. Si osservi che questa prima rivela-

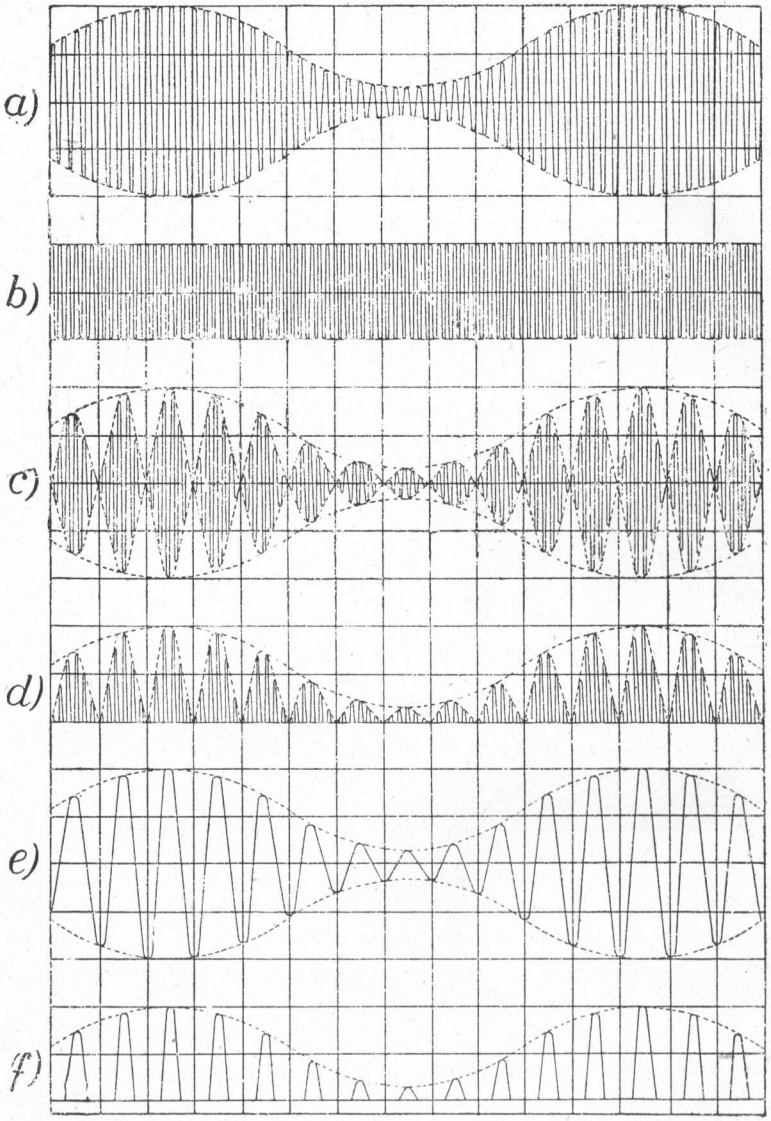


FIG. 186. - Il diagramma mostra come avviene la ricezione col metodo del cambiamento di frequenza.

zione non trasforma ancora l'oscillazione in segnale acustico, perchè il valore di f è sempre molto elevato, superiore a 30 mila cicli al secondo.

Quest'oscillazione di frequenza intermedia che prende origine nel circuito anodico della valvola V_1, viene ad agire attraverso il trasformatore T in un amplificatore accordato sulla frequenza f, e, infine, rivelato e tradotto in segnale acustico.

Manovrando il condensatore C_1, si può modificare a volontà la frequenza dell'oscillatore locale ed ottenere che per qualunque valore della frequenza dell'oscillazione in arrivo risulti $f = cost.$ Su questo valore deve essere poi accordato l'amplificatore di media frequenza.

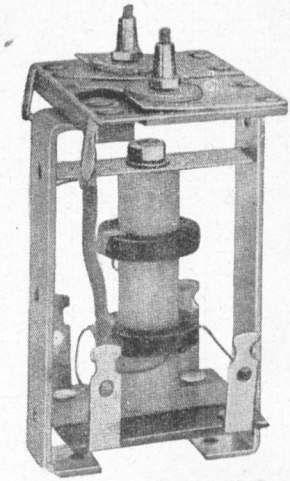


FIG. 187. - Un trasformatore impiegato per il collegamento intervalvolare nell'amplificatore a frequenza intermedia. Manca la calotta metallica che funziona da schermo.

Così, a titolo di esempio, supponiamo che la media frequenza di un ricevitore sia accordata su 175 kilohertz Se vogliamo ascoltare una stazione radiofonica che trasmette con la frequenza $f_1 = 814$ kh, faremo oscillare il generatore locale con la frequenza $f_2 = 989$ kh ed otterremo la frequenza del battimento:

$$989 - 814 = 175 \text{ kh.}$$

Se invece vogliamo ascoltare una stazione, che trasmette con la frequenza di 1222 kh è necessario che il generatore locale oscilli sulla frequenza di 1397 kh, essendo $1397 - 1222 = 175$ kh.

Oltre al sistema descritto, vi sono altri sistemi per ottenere il cambiamento di frequenza del segnale in arrivo. Tali sono: la tropadina, l'ultradina, il modulatore bigriglia. Ma, in verità, tutti questi sistemi non sono più usati e benchè il criterio informatore del cambiamento di frequenza sia rimasto sempre lo

stesso, oggi s'impiegano valvole speciali, come la pentagriglia e l'òttodo.

La *pentagriglia* è una valvola a sette elèttrodi: càtodo, cinque griglie e ànodo. In fig. 188 è illustrato lo schema di prin-

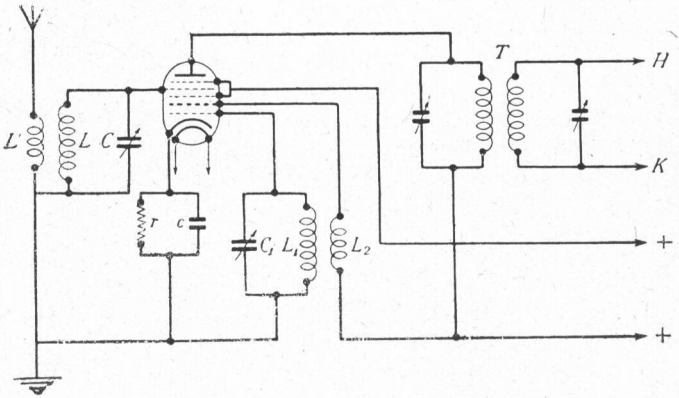


FIG. 188. - Come si usa la valvola pentagriglia per il cambiamento di frequenza.

cipio di un variatore di frequenza che impiega la detta valvola. Questa comporta due sezioni: una costituisce la parte oscillatrice e consta di una griglia (la più vicina al càtodo) e di un ànodo forato. Alla prima griglia si collega il circuito oscillante L_1C_1 mentre alla seconda griglia che ha funzione di ànodo, si collega la bobina L_2 accoppiata a L_1. Insomma si realizza un oscillatore tipo MEISSNER. Il flusso elettronico che attraversa la seconda griglia non è dunque costante ma oscilla con la frequenza propria del circuito L_1C_1, ossia con la frequenza dell'oscillazione locale.

Le oscillazioni in arrivo dall'antenna vanno ad agire sulla griglia di controllo (la quarta a partire dal càtodo) e si sovrappongono a quelle locali generando il battimento. Le altre due griglie hanno semplicemente la funzione di schermo onde evitare qualsiasi dannoso accoppiamento tra la sezione oscillatrice e quella sovrappositrice della valvola.

Gli *òttodi* sono valvole simili alle pentagriglie e funzionano

allo stesso modo. Esse hanno una griglia in più, detta *griglia di soppressione*, che ha lo scopo di eliminare l'emissione di elettroni secondari dalla placca per azione del bombardamento prodotto su di essa dagli elettroni provenienti dal càtodo (1). La griglia di soppressione è quella più vicina alla placca ed è colle-

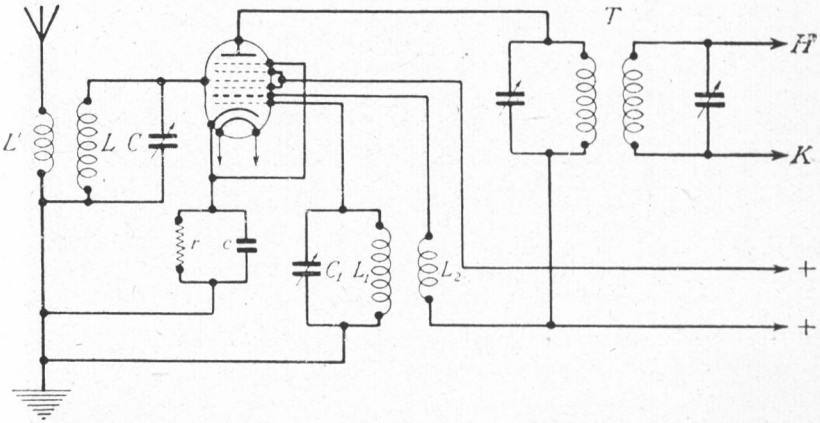


Fig. 189. - Come si usa l'òttodo per il cambiamento di frequenza.

gata al càtodo della valvola in modo da acquistare un potenziale leggermente negativo per poter respingere verso la placca gli elettroni secondari che questa emette.

99. - Caratteristiche dei moderni ricevitori. — I moderni ricevitori per uso domestico si distinguono per la loro semplicità di funzionamento, tanto da renderne possibile l'uso anche da parte dei profani. L'alimentazione generalmente è con corrente alternata; sono alimentati con batterie solo gli apparecchi trasportabili.

Il montaggio viene eseguito su telaio metallico. Tutti i trasformatori, le bobine e le stesse valvole, specialmente quelle amplificatrici di alta frequenza e la rivelatrice, sono racchiuse in scatole metalliche aventi funzione di schermo. In tal modo si evita ogni accoppiamento tra i diversi stadi, si ottiene una perfetta stabilità

(1) Vedi n° 61.

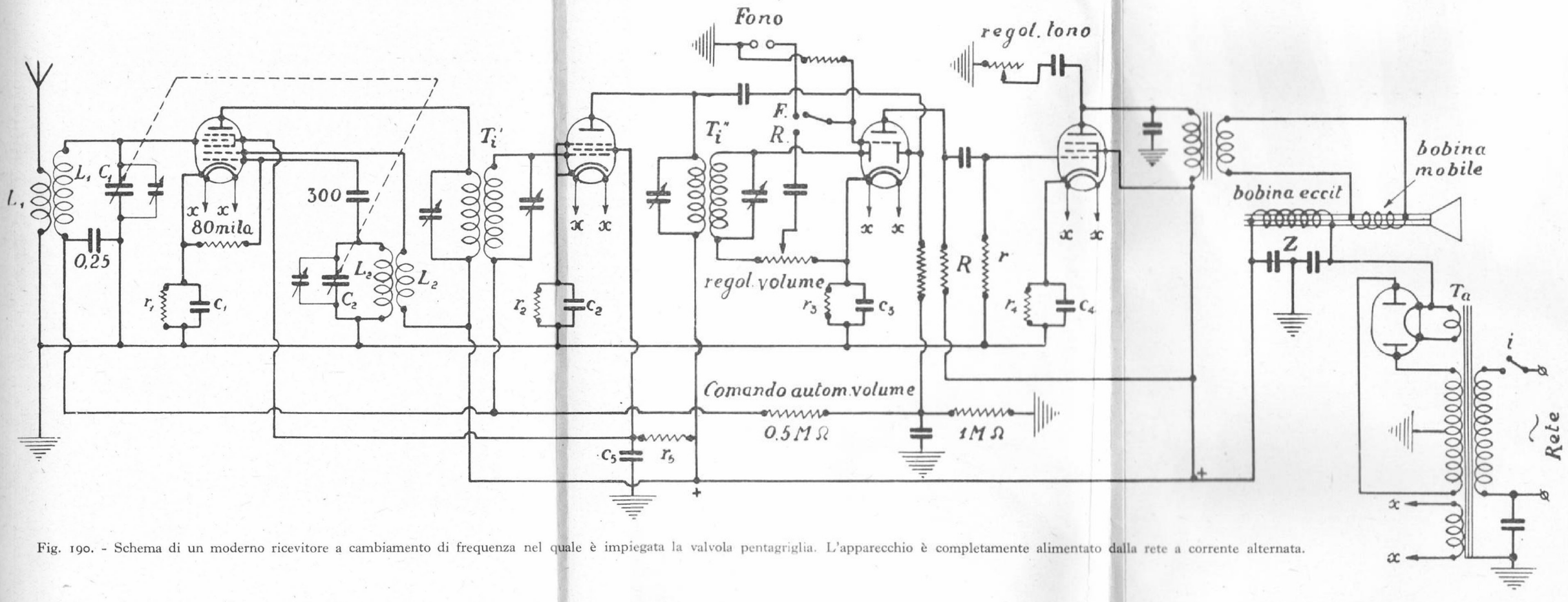


Fig. 190. - Schema di un moderno ricevitore a cambiamento di frequenza nel quale è impiegata la valvola pentagriglia. L'apparecchio è completamente alimentato dalla rete a corrente alternata.

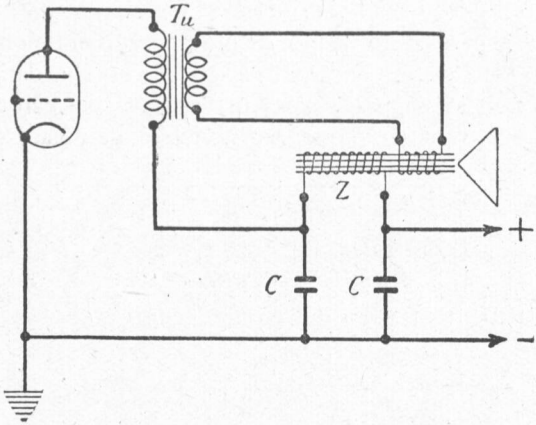


FIG. 191. - La bobina di eccitazione dell'altoparlante elettrodinamico può essere impiegata come impedenza di livellamento del filtro che fa parte del circuito di alimentazione.

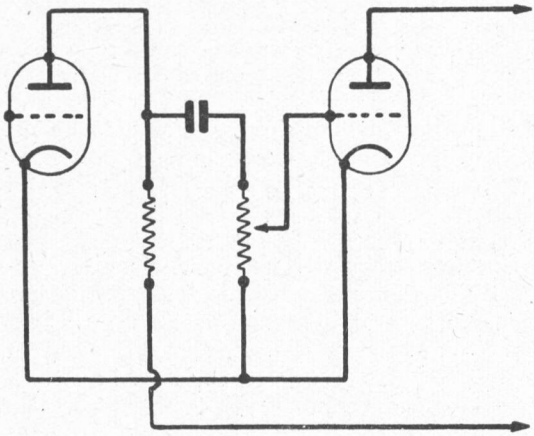


FIG. 192. - Il regolatore di volume permette di variare a mezzo di una resistenza potenziometrica l'ampiezza del segnale applicato alla valvola amplificatrice di bassa frequenza.

e si sottrae il ricevitore all'azione disturbatrice dei campi elettromagnetici esterni.

L'altoparlante più impiegato è quello elettrodinamico. In generale, si utilizza la bobina di eccitazione dell'altoparlante come induttanza di filtro del livellatore, secondo lo schema di fig. 191.

La tendenza moderna è di semplificare i comandi. Di solito, si ha per il comando della sintonia un sol bottone che fa girare *in tandem* tutti i condensatori variabili degli stadi di alta frequenza. Un altro comando comprende interruttore generale e *regolatore di volume:* questo è una resistenza di tipo potenziometrico (fig. 14) che modifica l'ampiezza del segnale applicato all'amplificatore di bassa frequenza. Un terzo comando è il *regolatore di tono* che è costituito da una resistenza variabile di 50 mila ohm in serie ad un condensatore di 20

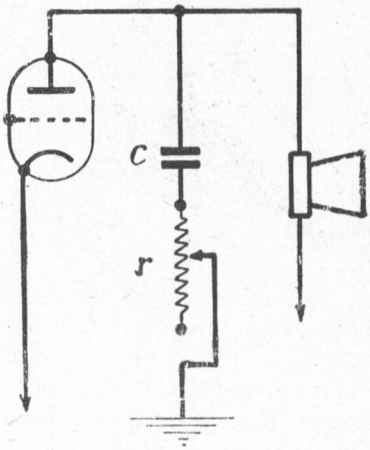


FIG. 193. - Il regolatore di tono è costituito da un condensatore in serie ad un reostato di elevato valore. *Reostato escluso:* tono basso; *reostato incluso:* tono alto.

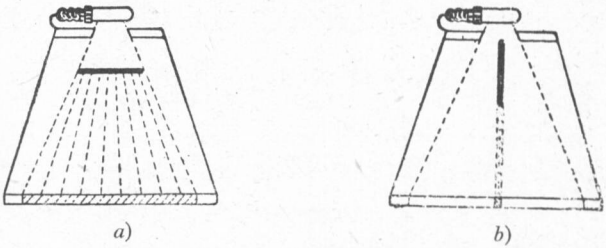


FIG. 194. - Un sistema per la sintonizzazione visiva. Si tratta di un *ombreggiatore* che funziona come un ordinario galvanometro. In *a*): il ricevitore è fuori sintonia e lo schermo traslucido appare completamente oscurato; in *b*): il ricevitore è sintonizzato sulla stazione che si vuol ricevere e l'ombra sullo schermo si è ridotta ad una sottile linea scura.

mila micromicrofarad (fig. 193). Quando la resistenza è tutta disinserita, le note di frequenza più alta (suoni acuti) vengono eliminate attraverso il condensatore e si ottiene a preferenza la riproduzione delle note basse. Con la resistenza inserita, si ottiene invece una riproduzione più pronunziata delle note alte. Negli apparecchi plurionda, infine, vi è il *commutatore d'onda*, che consente d'inserire le diverse bobine nel circuito oscillante, come è indicato schematicamente in fig. 178.

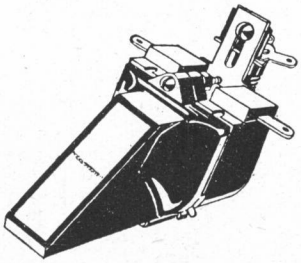


FIG. 195. - Aspetto esterno di un indicatore di sintonia ad ombreggiatore.

I ricevitori più costosi sono corredati di particolari dispositivi, quali: *regolatore automatico di volume e di tono*, *selettività variabile*, *sintonizzazione automatica*, *indicatore visivo di sintonia*, ecc.

L'*indicatore visivo di sintonia* permette di riconoscere se il ricevitore è perfettamente sintonizzato sulla lunghezza d'onda della

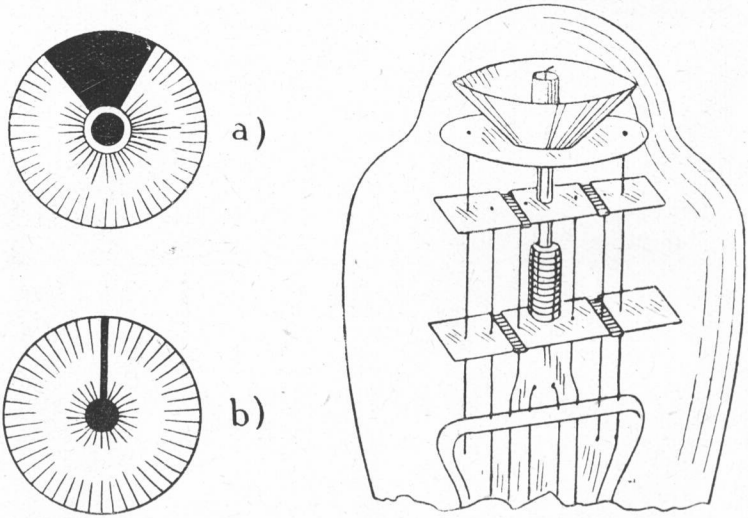


FIG. 196. - L'*occhio magico*. È una speciale valvola catodica che viene usata per l'indicazione visiva di sintonia. *A sinistra:* in *a*) come appare l'iride della valvola quando il ricevitore è fuori sintonia e in *b*) la stessa iride quando il ricevitore è perfettamente sintonizzato.

stazione che si vuol ricevere. Ve ne sono di vario tipo. Il più semplice è il così detto *ombreggiatore*. Consta di un piccolo galvanometro magnetoelettrico, la cui bobina mobile è inserita nel circuito anodico della valvola rivelatrice. Quando il ricevitore è sintonizzato, la corrente aumenta e la bobina ruota insieme a un piccolo schermo solidale con essa. Questo schermo intercetta più o meno la luce di una lampadina, in modo che se ne possa osser-

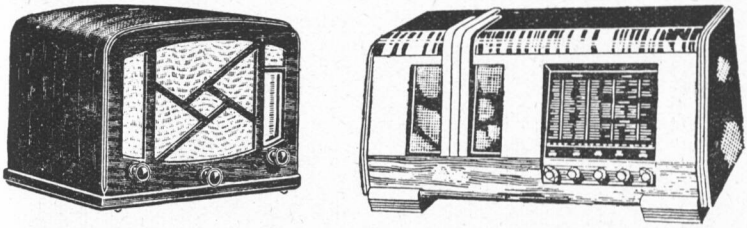


FIG. 197. - Alcuni moderni ricevitori del tipo sovramobile (*midget*).

vare l'ombra sopra un vetrino smerigliato. Quando il ricevitore è sintonizzato, l'ombra dello schermo si riduce ad una striscia sottile (fig. 194).

In molti moderni ricevitori è assai in uso una speciale ampolla elettronica cui si dà comunemente il nome di *occhio magico*. In questa valvola, il flusso elettronico, opportunamente comandato dalla rivelatrice, viene a cadere sopra una placca svasata come un piccolo imbuto la cui superficie visibile dall'esterno è ricoperta di sostanza che diventa fluorescente sotto l'azione del bombardamento degli elettroni. Si osserva una luminescenza verde assai vivace che ricopre tutta la placca quando il ricevitore è fuori sintonia; quando invece è sintonizzato, la luminescenza si restringe fino a ridursi ad un pennello sottile.

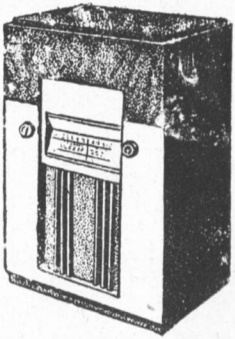


FIG. 198. - Moderno radiogrammofono.

I ricevitori per uso domestico vengono racchiusi in mobili del tipo di quelli indicati in fig. 197. Una *scala parlante* illuminata per trasparenza permette di leggere il nome della stazione su cui è sintonizzato l'apparecchio.

Si costruiscono anche speciali apparecchi detti *radiogrammofoni* che racchiudono un comune ricevitore e il dispositivo per la riproduzione elettrica dei dischi. In tal caso, la parte amplificatrice di bassa frequenza dell'apparecchio ricevente viene utilizzata per amplificare le tensioni fornite dal diaframma elettrico.

100. - Apparecchi commerciali. — Gli apparecchi impiegati per le radioricezioni commerciali presentano caratteristiche co-

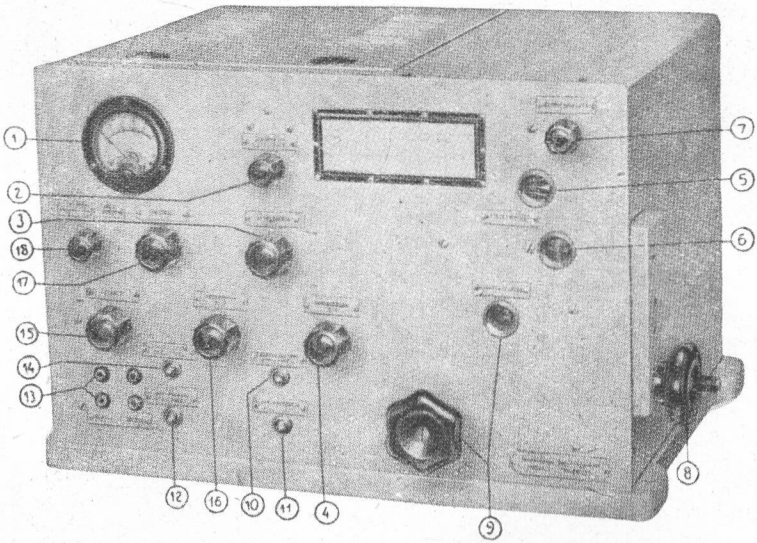


FIG. 199. - Ricevitore commerciale per onde corte.

struttive diverse da quelle degli apparati per uso domestico. Si distinguono, infatti, per la loro solidità, per il notevole numero delle valvole impiegate, per tutti gli accorgimenti atti ad assicurarne il funzionamento in ogni condizione.

In fig. 199 è indicato un apparecchio commerciale costruito in serie da una Ditta italiana (1), e che consente la ricezione della gamma d'onda compresa fra 8 e 130 m. L'alimentazione è a corrente continua (6 volt per l'accensione e 220 volt per l'anodica); fa uso di un dipolo per le onde più corte e di un aereo unipolare per quelle più

(1) Allocchio Bacchini di Milano.

lunghe. Il bottone 8 serve per la ricerca delle stazioni (sintonia) e le scale 5 e 6 consentono la lettura della graduazione. Tenuto conto della selettività elevata delle onde corte, il comando è demoltiplicato. Il bottone 9 serve per la commutazione delle gamme d'onda; la cuffia e l'altoparlante s'inseriscono nelle prese 13; lo strumento 1 permette di misurare la tensione d'accensione e la corrente anodica; il comando 3 modifica la selettività; 11 e 12 sono interruttori del circuito d'accensione e di quello anodico; 16 controlla il volume e 15 il tono.

La fig. 200 mostra il telaio di questo ricevitore.

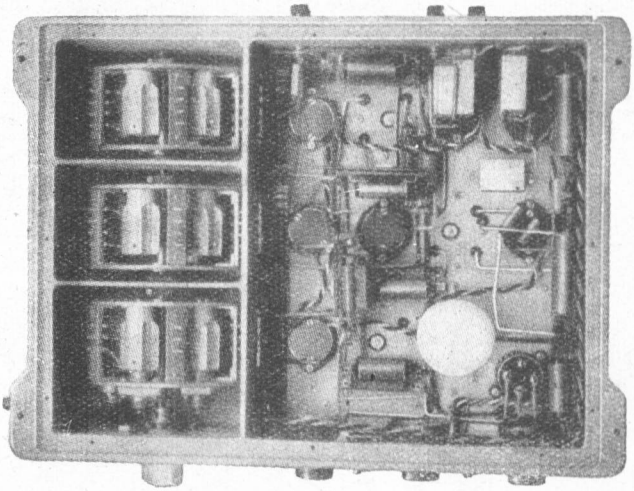


Fig. 200. - Telaio del ricevitore commerciale illustrato in fig. 199.

101. - Disturbi della ricezione. — Le radioricezioni sono più o meno infastidite da crepitii e rumori irregolari che prendono il nome generico di *disturbi*.

Tra questi sono particolarmente sensibili i disturbi atmosferici dovuti a perturbazioni elettriche e magnetiche naturali che provocano l'irradiamento di onde elettromagnetiche di lunghezze svariate sovrapposte fra loro e che sono capaci d'influenzare l'aereo ricevente, qualunque sia la frequenza su cui esso è sintonizzato.

Non è facile eliminare questi disturbi e nessuno dei dispositivi escogitati può dirsi veramente efficace.

In linea di massima, le onde lunghe sono assai più influenzate

delle medie, mentre le corte sono quasi esenti da ogni disturbo. Inoltre le scariche atmosferiche sono assai più risentite in estate e con tempo asciutto e nelle ore diurne anzichè in quelle notturne.

Disturbi provengono pure dagli impianti industriali. Essi sono prodotti da quegli apparecchi elettrici nei quali vengono a manifestarsi brusche variazioni di corrente o addirittura interruzioni che diano luogo a scintillìo. Come tali sono fonte di disturbo: le suonerie, i telefoni, i motori a collettore, i relé, ecc. Questi disturbi, convogliati dalla rete elettrica, si propagano sino al ricevitore. Si con-

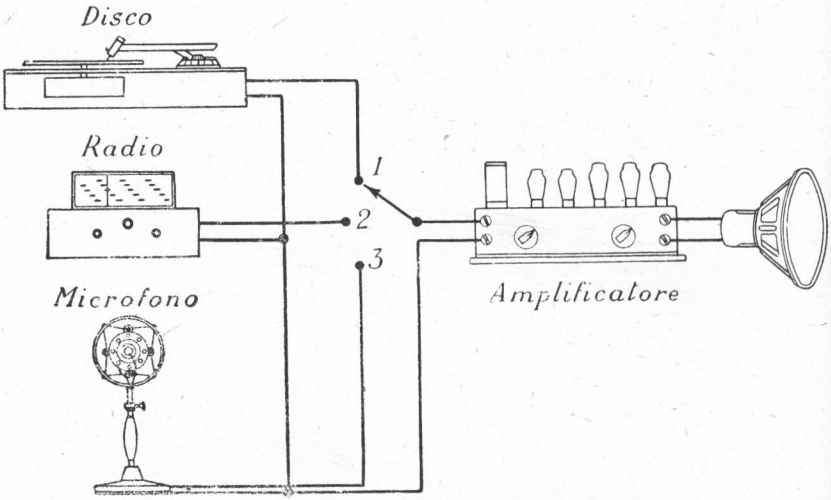


FIG. 201. - Disposizione schematica delle varie parti di un impianto di amplificazione. Un commutatore permette di collegare all'amplificatore il *pick-up* per la riproduzione dei dischi, il sintonizzatore per la ricezione radio o il microfono.

siglia di sopprimerli alla fonte a mezzo di circuiti filtri costituiti da condensatori di elevata capacità e bobine che vanno inseriti in modo opportuno nel circuito dell'apparecchio disturbatore, oppure utilizzando per la ricezione speciali *antenne schermate*.

Altri disturbi delle radioricezioni sono le *evanescenze*, che con parola straniera sono comunemente dette *fading* (1). Si tratta di una fluttuazione dell'intensità del campo elettromagnetico; di conseguenza

(1) Pronunzia: *fèdingh*.

il segnale ricevuto, periodicamente diventa forte e poi diminuisce e alcune volte scompare addirittura.

Il fenomeno è fortemente sentito sulle onde corte e sembra sia dovuto a spostamenti degli alti strati ionizzati che modificano il percorso dei raggi riflessi. In tali condizioni al ricevitore pervengono diversi raggi che hanno percorso cammini differenti e che risultano talvolta in fase e altre volte più o meno sfasati o addirittura in opposizione. Nel primo caso le azioni di tutti i raggi si sovrappongono e l'intensità del segnale è massima; in caso contrario la risultante diventa minima o anche nulla.

Si sono immaginati dispositivi antievanescenza da applicarsi agli apparecchi riceventi, i quali agiscono in modo da esaltare la sensibilità del ricevitore quando il campo elettromagnetico diventa meno intenso e da ridurla in caso contrario. Ma il sistema più efficace è quello di collegare l'apparato a più antenne (in generale, tre) sistemate ad una certa distanza l'una dall'altra. Ciascuna antenna è collegata ad un separato amplificatore di alta frequenza le cui uscite agiscono sullo stesso rivelatore. Il sistema è complicato e costoso e conviene solo per i grandi impianti industriali.

102. - Grandi impianti di diffusione sonora. — Si va estendendo sempre più l'uso di grandi impianti centralizzati nelle scuole, negli ospedali, negli stabilimenti, nelle pubbliche piazze, che consentono la diffusione di discorsi, di dischi grammofonici o di radioricezioni. Si tratta di potenti amplificatori capaci di alimentare anche diverse decine di altoparlanti elettrodinamici e che si collegano, a volontà, a mezzo di un commutatore, a un microfono, a un diaframma per grammofono o a un sintonizzatore per l'ascolto delle radiotrasmissioni.

La potenza di uscita degli amplificatori è contenuta tra qualche decina e qualche centinaio di watt.

CAPITOLO XIII

RADIOCOMUNICAZIONI DIRETTIVE RADIOGONIOMETRIA

103. - Notizie generali. — Abbiamo già visto al n° 36 che l'aereo a L irradia in un senso privilegiato con maggiore intensità che in tutte le altre direzioni (v. diagramma di fig. 53).

Studiando opportuni tipi di aerei e soprattutto ricorrendo alle onde corte, si può pervenire a speciali sistemi che consentono d'irradiare l'energia elettromagnetica esclusivamente in una sola direzione. Si ottengono così *radiocomunicazioni direttive* o *sistemi a fascio* (1) ideati da MARCONI e oggi diffusi in molte importanti installazioni.

Se la possibilità di rendere direttive le trasmissioni risolve il problema della segretezza nelle radiocomunicazioni e permette di ridurre la potenza degli apparati trasmittenti, non meno importante è la possibilità di realizzare ricezioni direttive. Questo problema, infatti, ha dato origine alla *radiogoniometria*, che offre la possibilità di individuare esattamente la posizione geografica di un trasmettitore e di servirsi di questo per orientarsi o per seguire una rotta nella navigazione aerea e marittima.

104. - Aerei direttivi per la trasmissione. — Le onde corte si prestano ad essere irradiate in una sola direzione a mezzo di speciali antenne riflettenti. Si tratta di aerei eccitati da altri aerei rispetto ai quali essi hanno una particolare disposizione, in modo da ottenere l'effetto desiderato.

(1) Si direbbe meglio *a raggi*, perchè la dicitura originaria è *beam system* (pronunzia: *biim sistem*).

Una prima applicazione di questo principio si ha nelle antenne paraboliche (fig. 202). Queste sono costituite da un certo numero di antenne verticali isolate ai due estremi, distanti tra loro circa 1/10 della lunghezza d'onda che si vuole irradiare e sistemate lungo un ramo di parabola orizzontale. Nel fuoco della parabola è disposto l'aereo eccitatore alimentato dall'apparecchio trasmittente al quale è collegato a mezzo di linea d'alimentazione comunemente detta *feeder* (1). Il sistema permette d'irradiare le onde elettromagnetiche solo nella direzione dell'asse della parabola.

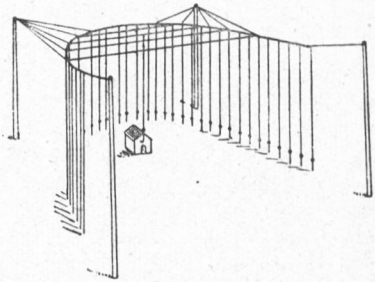


FIG. 202. - Sistema di antenne per la trasmissione direttiva.

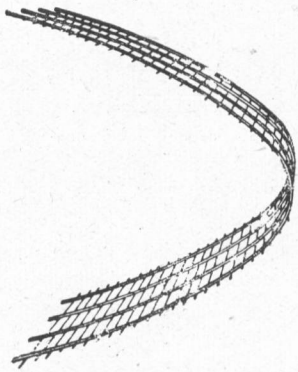


FIG. 203. - Sistema di antenne per trasmissione direttiva di onde cortissime (lunghezza d'onda inferiore a 1 metro).

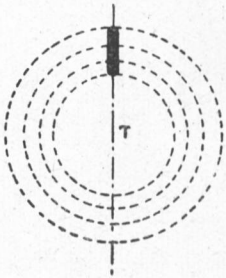


FIG. 204. - Il telaio è influenzato quasi esclusivamente dalla componente magnetica delle radioonde. Quando il telaio è orientato nella direzione del trasmettitore, raccoglie la massima energia.

Attualmente si sono studiati altri tipi di aerei riflettenti, per la conoscenza dei quali rimandiamo il lettore ai trattati speciali.

(1) Pronunzia: *fiider*.

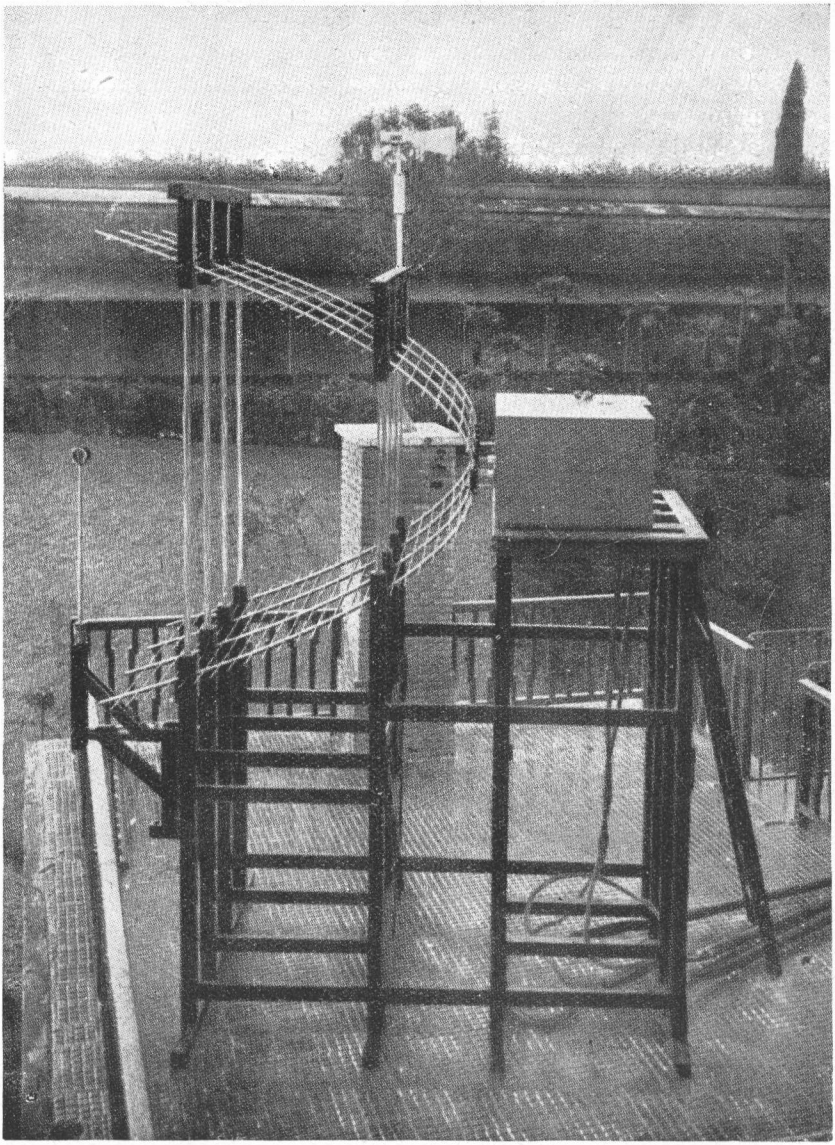


FIG. 205. - Antenne direttive della Stazione ad onda ultracorta della Città del Vaticano.

La fig. 205 illustra l'aereo riflettente della stazione ad onda cortissima ($\lambda = 0{,}85$ m) installata a Città del Vaticano per le comunicazioni bilaterali con Castelgandolfo.

105. - Ricezioni direttive a mezzo del telaio. — Il *quadro* o *telaio* è una specie di grossa bobina (fig. 151) capace d'irradiare o captare le onde elettromagnetiche. In ricezione il te-

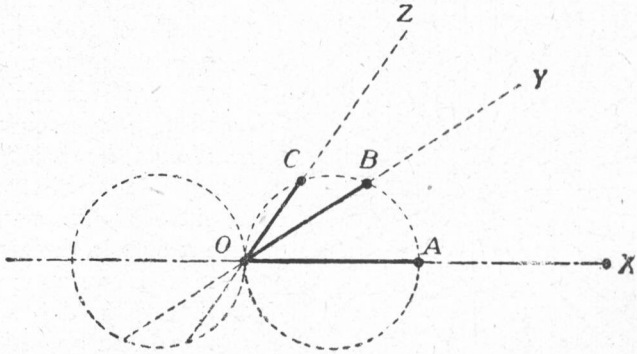


FIG. 206. - Il *diagramma ad otto* mostra come varia l'intensità della ricezione in funzione dell'angolo che il telaio forma con la direzione del trasmettitore.

laio è influenzato esclusivamente, o quasi, dal solo campo magnetico, mentre le linee di forza elettrica non hanno azione apprezzabile su di esso.

Ricordiamo che le linee di forza magnetica hanno forma circolare intorno all'antenna che le ha generate (fig. 55 *b*), onde il telaio raccoglie il flusso massimo solo quando è attraversato perpendicolarmente da queste linee, cioè quando è disposto nella direzione della stazione. Infatti l'esperienza mostra che collegando un ricevitore al telaio, si ottiene la massima intensità di ricezione quando il piano che contiene il telaio passa per l'antenna della stazione trasmittente; la ricezione scompare, o è minima, quando il telaio viene ruotato di 90°.

Se si disegna un *diagramma polare di ricezione* (che ha lo

stesso significato di quelli indicati per la trasmissione in fig. 53), si ottiene la così detta *curva ad otto* di fig. 206. Questa curva mostra appunto che quando il telaio è diretto secondo *OX*, cioè verso la stazione trasmittente, l'intensità della ricezione è massima perchè è misurata dal segmento *OA:* se il telaio è diretto secondo *OY*, l'intensità diminuisce ed è misurata da *OB;* se è diretto secondo *OZ*, si riduce a *OC;* e se, infine, è perpendicolare alla direzione della trasmittente è nulla.

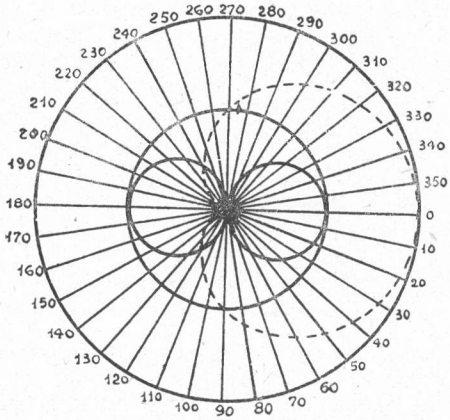


FIG. 207. - Il *diagramma a cuore* risulta dalla sovrapposizione di quello a otto e di quello circolare.

Se si collega, dunque, un apparato ricevente ad un telaio impiegato come collettore d'onda, è possibile stabilire la direzione in cui si trova il trasmettitore; ma solo la direzione, e non il verso perchè l'intensità dei segnali non muta secondo che il trasmettitore si trova in un senso o nell'altro.

È possibile ottenere nozione del senso dal quale provengono i segnali, collegando il ricevitore ad un doppio collettore d'onda: un quadro ed un aereo marconiano verticale. Quest'ultimo non ha caratteristiche direttive e cioè l'intensità della ricezione non muta, comunque l'aereo ruoti su se stesso: il suo diagramma polare è una circonferenza i cui raggi sono i vettori che rappresentano l'intensità di ricezione nelle diverse direzioni.

Se il ricevitore è collegato contemporaneamente all'antenna e al telaio, le due azioni si compongono e l'intensità di ricezione si può ottenere sovrapponendo i due diagrammi. Realizzata la condizione che le correnti destate nell'antenna siano eguali a quelle che si generano nel telaio, la curva risultante presenta un massimo eguale al doppio di quella di ciascuna componente

nel senso da cui provengono i segnali e valore nullo nel senso opposto (1).

106. - Radiogoniometri. — Il radiogoniometro è un apparecchio di ricezione che, utilizzando i principii sopra esposti, permette di determinare con grande esattezza (meno di un grado) direzione e senso da cui provengono i segnali di un trasmettitore.

Inventato dai tecnici italiani BELLINI e TOSI, migliorato da ROUND (pronunzia *Ràund*) fu poi perfezionato da MARCONI.

Senza far cenno al dettaglio di funzionamento di questi apparecchi, vogliamo indicarne brevemente le possibilità d'impiego. Supponiamo che X (fig. 208) sia la posizione ignorata di un velivolo o di una nave, muniti di apparato radiogoniometrico. Per conoscere la propria posizione, il marconista di bordo ricerca due stazioni trasmittenti di posizione nota A e B e determina a mezzo del radiogoniometro gli angoli α e β che le direzioni XA e XB da cui provengono i segnali formano con una direzione fissa che normalmente è quella NORD-SUD. Riportando su apposita carta topografica le direzioni XA e

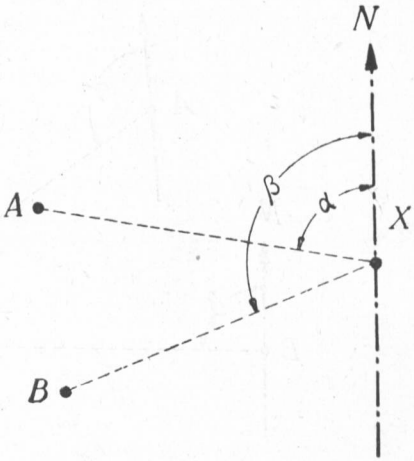


FIG. 208. - In X è un radiogoniometro a mezzo del quale si determinano gli angoli α e β che la direzione Nord-Sud forma con le direzioni da cui provengono i segnali dei due trasmettitori A e B. Determinati questi angoli, è facile stabilire la posizione geografica del punto X.

(1) Ciò dipende dal fatto che le correnti destate nel telaio da due trasmittenti disposte da parte opposta rispetto ad esso sono in opposizione, mentre quelle prodotte dalle stesse due stazioni nell'aereo verticale hanno sempre lo stesso verso. Dunque, queste ultime una volta si sommano e un'altra volta si sottraggono alle correnti del telaio.

XB, dalla loro intersezione si determina il punto X, cioè la posizione geografica della nave o dell'aereo.

Se a bordo non esiste radiogoniometro ma vi è una trasmittente, la determinazione del punto viene eseguita a terra da due radiogoniometri fissi A e B (fig. 209) che misurano gli angoli

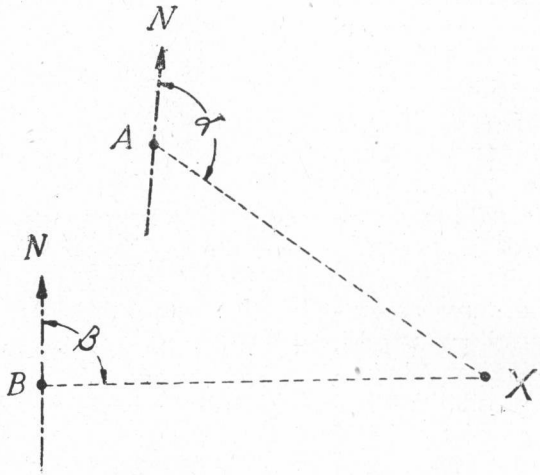


FIG. 209. - In X è un trasmettitore e A e B sono due radiogoniometri a mezzo dei quali si determinano gli angoli α e β rispetto alla direzione Nord-Sud. Dalla conoscenza di questi angoli è facile stabilire la posizione geografica del punto X.

α e β formati dalle direzioni da cui provengono i segnali con la direzione fissa Nord-Sud. In tal caso la trasmittente di bordo deve lanciare segnali convenuti. Le stazioni fisse trasmettono poi all'aereo o alla nave la sua posizione.

107. - Radiofari. — I radiofari sono apparecchi trasmittenti situati in posizione geografica ben definita e riportata sulle carte di navigazione. Questi apparecchi trasmettono, con nota lunghezza d'onda, una serie di segnali convenzionali che si ripetono periodicamente, in modo che siano facilmente distinguibili.

I radiofari rendono segnalati servizi alla navigazione aerea

e marittima che se ne serve come punti di riferimento per determinare la propria posizione o per correggere la propria rotta.

I radiofari possono poi servire per guidare i velivoli lungo

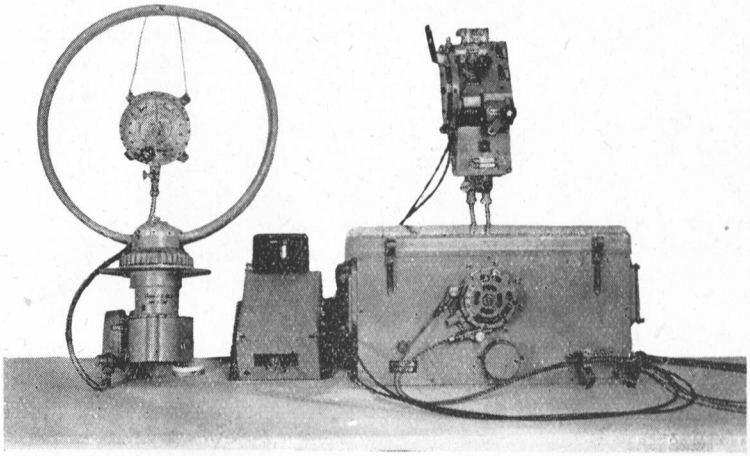


FIG. 210. - Complesso radiogoniometrico a bordo di un aeroplano.

una rotta prestabilita. A tale scopo s'installa un radiofaro che irradia a mezzo di due grandi aerei a telaio che formano tra loro un certo angolo, per es. di 90°.

Le trasmissioni avvengono dai due telai con la stessa lunghezza d'onda; ma, mentre uno di essi trasmette periodicamen-

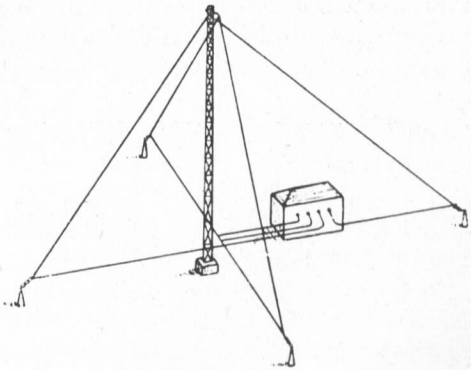


FIG. 211. - L'antenna di un radiofaro è costituita da due grandi spire che si comportano come telai disposti ad angolo retto.

te il segnale — - (lettera *n*), l'altro trasmette il segnale - — (lettera *a*). Le distanze di tempo delle due trasmissioni è regolata automaticamente in modo che i due segnali si presentino alternati così —‾_—. Poichè il diagramma polare di trasmissione di un telaio è identico a quello di ricezione (curva ad 8), avviene che i diagrammi relativi ai due telai parzialmente si sovrappongono e generano quattro fasci, derivanti dalla fusione dei due segnali.

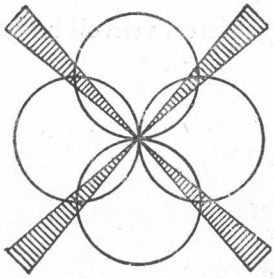


FIG. 212. - Diagramma di emissione di un radiofaro per conseguire il mantenimento di rotta di un velivolo.

Se un aeroplano segue la rotta indicata da uno dei fasci, il marconista di bordo ascolterà nella cuffia un segnale continuo che nasce dalla fusione dei due segnali emessi; se, invece, l'aereo esce fuori della giusta rotta, viene ascoltato uno solo dei due segnali: *a* o *n*, secondo che si è deviato a sinistra o a destra.

Nel caso di lunghe crociere, conviene installare un radiofaro in partenza e uno in arrivo.

È possibile, pure, attuare speciali sistemi di radiofari che azionano a bordo un apparecchio visivo sistemato in modo da essere osservato dal pilota e che indica se l'aereo segue la rotta prestabilita.

108. - I radar. — Una delle più recenti applicazioni delle radiocomunicazioni direttive è sorta durante l'ultima guerra. Si tratta di apparati ad onda ultracorta, muniti di antenne speciali riflettenti, che lanciano nello spazio treni d'onda in direzioni determinate e che raccolgono le onde riflesse da un ostacolo qualsiasi (nave, aereo, ecc.). A mezzo di questi apparati è possibile misurare la distanza a cui trovasi l'ostacolo e la sua esatta posizione.

A tale apparecchi è stato dato il nome di *radar*. Di essi sarà più diffusamente parlato al n° 120.

CAPITOLO XIV

INSTALLAZIONI A BORDO DI AUTOMOBILI E DI VELIVOLI

109. - Notizie generali. — Apparati trasmittenti e riceventi si possono installare anche sui veicoli, il cui movimento non influisce in modo sensibile sulla sicurezza e stabilità del loro funzionamento.

È necessario solo che il peso e il volume degli apparecchi siano ridotti al minimo; che sia curata la loro solidità di costruzione per metterli in grado di resistere alle vibrazioni e che le antenne siano sistemate in modo da non disturbare la marcia del veicolo e le sue eventuali manovre.

Nel caso di apparati di trasmissione, la potenza non può eccedere certi limiti per evitare eccessivo peso del generatore. Infine gli apparecchi sia riceventi che trasmittenti non possono funzionare con presa di terra: essi, perciò, utilizzano tutta la massa metallica del veicolo (telaio, carlinga, motore, ecc.) come *contrappeso* (fig. 50).

Infine, è necessario provvedere a sistemi atti a sopprimere i disturbi provenienti dall'accensione del motore a scoppio. Questo si ottiene schermando con fasciature metalliche i fili che collegano il magnete alle candele, disponendo resistenze in serie alle candele stesse, in modo da smorzare rapidamente le oscillazioni elettriche che si propagano lungo i conduttori, collegando condensatori di elevata capacità in derivazione ai punti ove si producono interruzioni di corrente (interruttori, distributori dell'accensione, ecc.).

110. - Apparecchi a bordo di automobili. — In generale a bordo di automobili s'installano solo apparati riceventi. Non mancano esempi anche di trasmettitori, come quelli utilizzati dalla polizia, dall'esercito, o per altri pubblici servizi.

Limitiamo la nostra descrizione ai piccoli apparati riceventi.

Questi ricevitori sono del tipo supereterodina a quattro o cinque valvole. L'altoparlante, di solito, è separato dal ricevi-

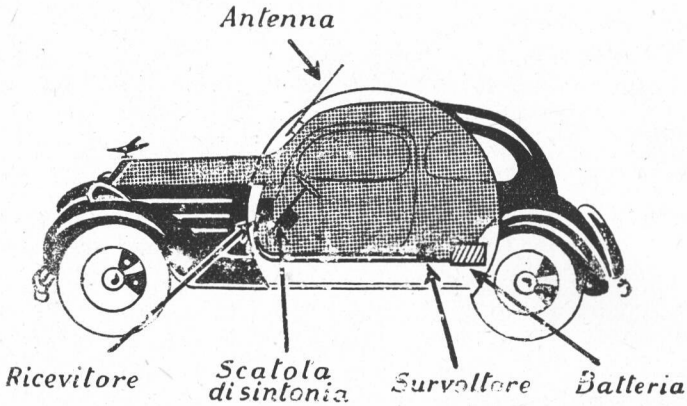


FIG. 213. - Disposizione del ricevitore radio a bordo di un'automobile.

tore vero e proprio e la manopola di sintonia è riportata sul volante dello sterzo o sul cruscotto. I comandi sono trasmessi a distanza a mezzo di cavetti flessibili. Talvolta viene portata sul cruscotto l'intera *scatola di sintonia* che contiene tutti i circuiti oscillanti del ricevitore e i relativi condensatori variabili.

È molto interessante lo studio dei sistemi ideati per l'alimentazione. All'accensione delle valvole provvede la batteria di accumulatori dell'automobile. Per la tensione anodica si può usare un piccolo gruppo *survoltore* costituito da un motore alimentato dalla batteria e da una dinamo che fornisce l'alta tensione. Un filtro di spianamento (fig. 83) permette di livellare la corrente così ottenuta.

Un altro sistema impiega un *vibratore*, vale a dire un interruttore elettromagnetico che rende variabile la corrente con-

tinua della batteria di accumulatori. Un piccolo trasformatore utilizza queste correnti variabili e ne eleva la tensione. Successivamente una valvola raddrizzatrice le trasforma in correnti pulsanti e un filtro le livella trasformandole in correnti continue.

Come aereo serve un conduttore lungo poco meno di un metro che si può fissare al parabrezza.

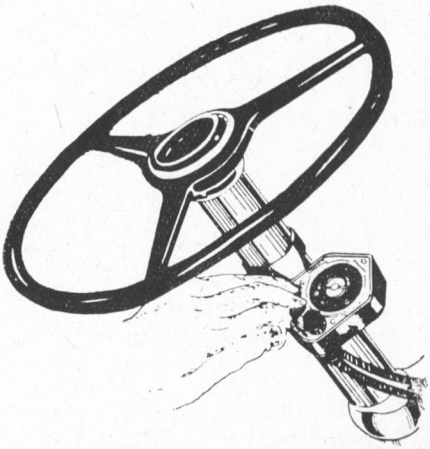


FIG. 214. - Scatola di sintonia attaccata allo sterzo della macchina.

111. - Apparati a bordo degli aerei. — A bordo degli aerei si installano apparati assai più complessi. Nel caso dei grandi velivoli per linee civili o velivoli militari di notevole autonomia, si hanno:

— un *trasmettitore* per diverse lunghezze d'onda;

— un *ricevitore;*

— un *complesso radiogoniometrico*, con indicazione visiva di rotta;

— un *complesso interfonico*, per le comunicazioni tra pilota e marconista.

L'antenna che si collega a questi apparati può essere *fissa* o *rientrabile*.

L'antenna fissa è costituita da una treccia di rame o bronzo fosforoso tesa da un estremo all'altro delle ali oppure tra poppa e prua del velivolo e lungo le ali, come mostra la fig. 215. Questo tipo di antenna offre il vantaggio di poter tenere in funzione gli apparati di bordo, o parte di essi, anche quando il velivolo non sia in volo.

Per apparecchi dotati di alta velocità è preferibile costruire l'aereo con una striscia di rame profilata in modo da offrire minima resistenza di penetrazione nell'aria, sostenuta da appositi montanti disposti lungo le ali o la carlinga. Come con-

trappeso serve di solito tutta l'incastellatura metallica dell'apparecchio, la massa del motore, i serbatoi di benzina e d'olio collegati elettricamente insieme. Si può installare, però, un vero e proprio contrappeso con una treccia di rame sistemata parallelamente al filo di aereo.

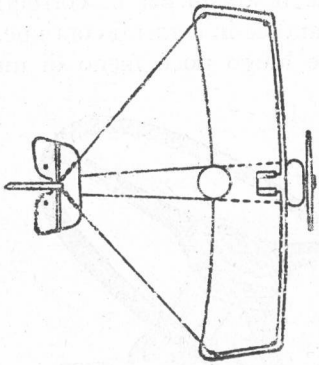


FIG. 215. - Una possibile sistemazione dell'antenna a bordo di un velivolo.

Un altro tipo di antenna è quella rientrabile detta pure *a tamburello*. Si tratta di un conduttore di treccia di rame o bronzo che durante il volo si lascia pendere dal velivolo, mentre per l'atterraggio viene ritirato avvolgendolo su apposito tamburello sistemato a bordo. In volo, l'aereo, al cui estremo è legato un pesetto, acquista la forma caratteristica indicata in fig. 216.

Per la trasmissione e ricezione delle onde corte si dispone un dipolo lungo le ali, simmetrico rispetto all'asse del velivolo.

Gli apparati sono alimentati da batterie di accumulatori per l'accensione dei filamenti, batterie di pile a secco per la tensione anodica delle valvole dei ricevitori e generatori elettromagnetici per la tensione anodica delle valvole trasmittenti. I generatori elettromagnetici sono foggiati a solidi di buona penetrazione per ridurre l'attrito di avanzamento nell'aria. Il movimento è dato da un mulinello a passo variabile, allo scopo di ottenere velocità presso a poco costante (nei moderni tipi

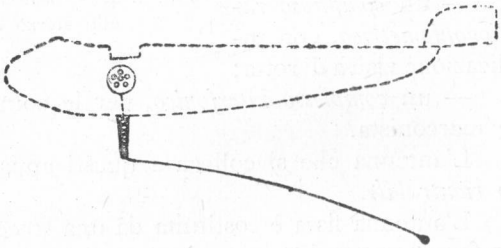


FIG. 216. - Aereo a tamburello. Quando il velivolo deve atterrare, il conduttore viene ritirato a bordo e avvolto su apposito tamburo.

è di circa 5 mila giri al minuto) in qualunque condizione di volo. Si sono costruiti anche mulinelli autoregolatori.

In generale, questi generatori sono completamente stagni. Essi, inoltre, comportano diversi avvolgimenti che fanno capo a collettori separati. Dal collettore di alta tensione si preleva l'energia occorrente all'alimentazione anodica dell'apparato trasmittente; invece un avvolgimento di bassa tensione serve per la ricarica di una batteria di accumulatori che serve sia per l'accensione dei filamenti e sia per l'impianto luce di bordo. Infine vi è un avvolgimento che genera corrente alternata a frequenza 800 periodi/sec, occorrente per la modulazione del trasmettitore.

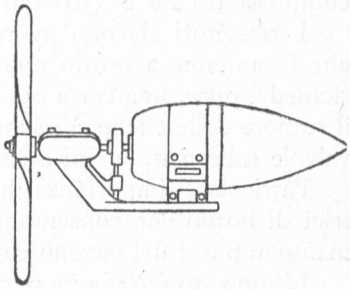


FIG. 217. - Generatore elettromagnetico azionato dal vento.

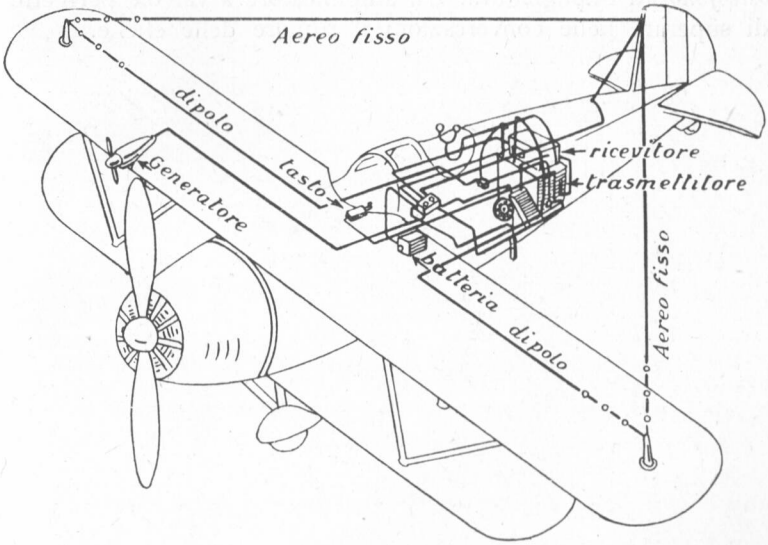


FIG. 218. - Disposizione delle varie apparecchiature radiotrasmittenti e riceventi a bordo di un velivolo.

I trasmettitori utilizzano circuiti molto semplici: in generale comportano uno stadio pilota, uno stadio modulatore e uno amplificatore. La potenza di alimentazione, secondo i tipi, è compresa tra 80 e 350 watt.

I ricevitori devono avere buona sensibilità, tenuto conto che le antenne a bordo non hanno uno sviluppo notevole; si richiede, pure, una certa potenza di uscita, sufficiente a vincere il rumore delle eliche. Vi sono tipi ad amplificazione diretta con valvole schermate e tipi a supereterodina.

Particolare importanza hanno gli impianti radiogoniometrici di bordo che consentono il volo strumentale senza riferimento ai punti del terreno e con l'indicazione visiva ed acustica.

L'impianto *interfonico* permette in volo la comunicazione tra due membri dell'equipaggio, generalmente tra il posto del pilota e quello del marconista. I microfoni impiegati a tale scopo sono di tipo specialmente studiato per ambienti rumorosi: il pilota fa uso di un *laringofono* stretto a collare intorno al collo e azionato direttamente dalle vibrazioni della laringe e il marconista di un *osteofono* ad impugnatura. Un amplificatore a valvole permette di superare nelle conversazioni il rumore delle eliche.

CAPITOLO XV

RECENTI APPLICAZIONI TELEMECCANICA - CINEMA SONORO - TELEVISIONE, ECC.

112. - Notizie generali. — In questi ultimi anni abbiamo assistito al rapido svilupparsi di applicazioni tecniche che si servono delle apparecchiature impiegate negli apparati di trasmissione e ricezione senza fili. Tali sono: il *cinema sonoro*, gli apparecchi di *telefotografia* e *televisione*, quelli per la *trasmissione di comandi* e manovre a distanza, e quelli impiegati per lo *scandaglio delle profondità marine* o per l'*incisione elettrica dei dischi*.

Alcuni di questi apparecchi sono già entrati nell'uso comune ed hanno raggiunto una maturità di concezione ed una struttura costruttiva, possiamo dire, perfetta; altri sono ancora allo stato sperimentale e non è possibile prevederne lo sviluppo futuro.

Per la realizzazione di questi moderni ritrovati fu necessario risolvere problemi complessi di ordine elettrico e meccanico, alla soluzione dei quali concorsero gli sforzi di inventori isolati e, nello stesso tempo, le ricerche di attrezzatissimi laboratori scientifici.

Vogliamo dare un rapido cenno al funzionamento di questi apparati che costituiscono la più suggestiva applicazione delle teorie esposte nelle pagine che precedono.

113. - La telemeccanica. — A mezzo delle radioonde è possibile trasmettere a distanza segnali atti a comandare una macchina, ad eseguire manovre, a dare segnalazioni.

Nel complesso, l'apparato destinato alla trasmissione di questi segnali è un comune trasmettitore a valvole che può essere modulato con correnti di frequenza diversa. Secondo il comando che si vuol trasmettere, si modula l'apparato con l'una

o con l'altra frequenza. I segnali pervengono all'apparato ricevente che li amplifica e li rivela. Una serie di filtri collegati

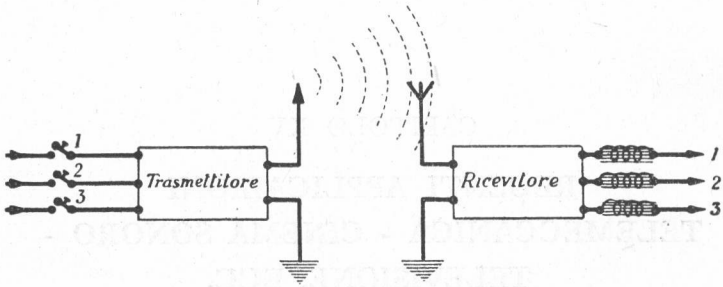


FIG. 219. - Disposizione schematica degli apparati di radiotelemeccanica.

all'uscita del ricevitore permette d'incanalare in un circuito o nell'altro, a secondo della frequenza, i segnali pervenuti. Queste

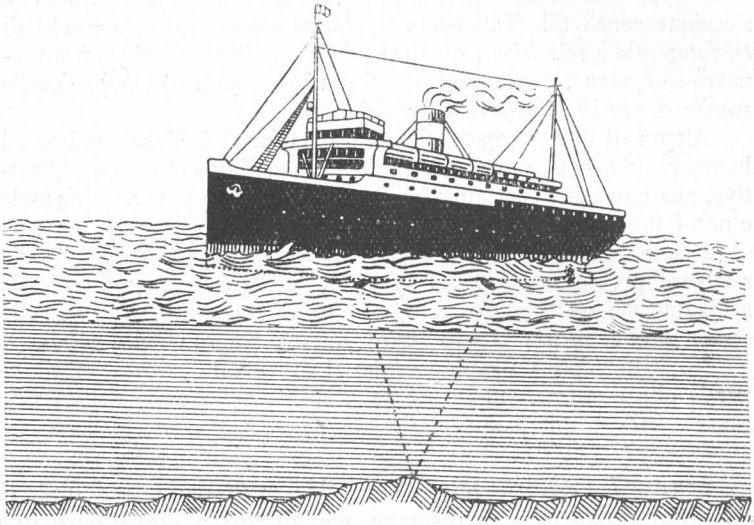


FIG. 220. - Scandaglio del fondo marino a mezzo di ultrasuoni.

correnti vanno ad agire in appropriati relé, che a loro volta chiudono un circuito locale nel quale è inserito il motore elettrico che aziona il meccanismo radiocomandato.

Con questo sistema si possono far manovrare a distanza navi, automobili, velivoli, senza che a bordo sia necessario mantenere il personale normalmente occorrente.

114. - Scandaglio del fondo marino. — Lo scandaglio del fondo marino si esegue utilizzando le proprietà piezoelettriche dei cristalli di quarzo (v. nº 41).

Per eseguire lo scandaglio, occorre attrezzare a tale scopo una nave. L'apparecchiatura occorrente è costituita da un generatore di corrente alternata di frequenza molto elevata, compresa generalmente tra 50 e 100 mila periodi al secondo.

Le tensioni oscillanti così generate vengono portate ad una lamina di quarzo tagliata in modo opportuno e di spessore tale che la sua frequenza propria coincida con quella della tensione eccitatrice. La lamina è disposta sotto la chiglia della nave. Essa entra allora in vibrazione e genera nell'acqua delle onde elastiche che prendono il nome di *ultrasuoni* (1).

Non appena queste onde incontrano un ostacolo, vengono riflesse nuovamente verso la superficie e ritornano sotto lo scafo della nave ove è sistemato un secondo cristallo, identico al precedente, vale a dire capace di oscillare sulla stessa frequenza. Sotto l'azione di queste oscillazioni il cristallo genera sulle armature metalliche tensioni oscillanti che, amplificate e rivelate da un apparato a valvole, agiscono sopra un registratore oscillografico. Si ottiene così un diagramma sul quale sono visibili due denti: uno corrispondente al segnale trasmesso e l'altro al segnale ricevuto. I due segnali distano tra loro tanto di più quanto maggiore è la profondità dell'ostacolo sotto il pelo dell'acqua. Il metodo è molto sensibile e sufficientemente esatto: l'errore che si commette non supera l'1 per cento ed è già possibile eseguire scandagli alla profondità di quattro o cinque metri.

Il sistema, dovuto a LANGEVIN, serve pure per la navigazione

(1) Gli ultrasuoni hanno caratteristiche e importanti proprietà. Si propagano molto bene nell'acqua con la velocità di circa 1500 metri al secondo, e possono percorrere anche molti chilometri senza essere assorbiti.

Si sono generati ultrasuoni con una potenza superiore a un kilowatt: in tal caso, lungo il loro percorso uccidono pesci e causano un forte dolore a chi immerge la mano nell'acqua.

Infine, essi si propagano in linea retta e si sparpagliano assai poco.

nella nebbia, per scoprire sottomarini in caso di guerra, per stabilire la presenza di *iceberg* (1) o di ostacoli di altra natura.

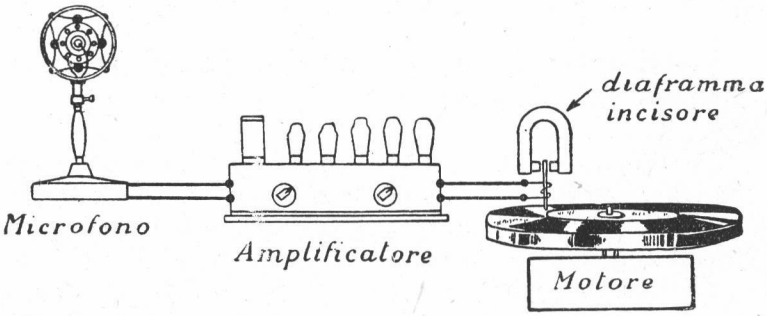


FIG. 221. - Disposizione schematica degli apparati per l'incisione elettrica dei dischi grammofonici.

115. - Incisione elettrica dei dischi grammofonici. — La registrazione dei dischi grammofonici si esegue oggi con sistemi elettrici che permettono una notevole fedeltà di riproduzione.

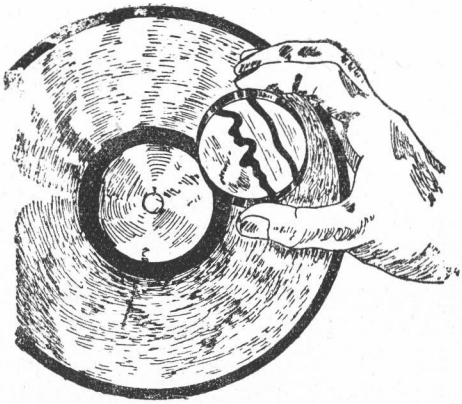


FIG. 222. - Come si presenta il solco di un disco ad un forte ingrandimento.

I suoni da registrare vengono emessi dinanzi a uno o più microfoni che traducono le vibrazioni elastiche dell'aria in correnti elettriche variabili. Queste vanno ad agire sul diaframma incisore, dopo opportuna amplificazione ottenuta con i noti apparati a valvola. Il diaframma incisore è praticamente eguale a quello che s'impiega per la riproduzione (v. fig. 69), ma il suo

(1) Pronunzia: *aiseberg*.

funzionamento è precisamente l'opposto. Infatti per azione delle correnti che provengono dal circuito microfonico e che agiscono sopra la bobinetta di filo di rame, l'ancora entra in vibrazione e crea delle ondulazioni nel solco del disco vergine costituito da sostanza plastica. Il disco così inciso viene poi

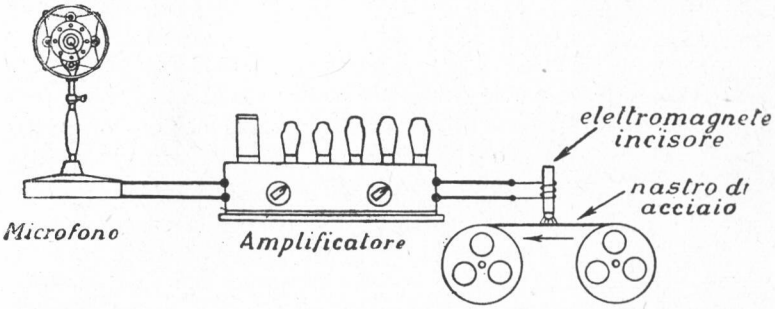


FIG. 223. - Disposizione degli apparati per la registrazione elettromagnetica dei suoni su nastro di acciaio.

indurito e da esso si ricava una matrice metallica che serve a stampare le copie da mettere in commercio.

La registrazione normale viene eseguita alla velocità di 72 giri al minuto. In casi speciali, per lunghe registrazioni, si fabbricano dischi che girano con la velocità di 33 giri e mezzo al minuto (1).

116. - Registrazione magnetica dei suoni. — Un altro sistema per registrare i suoni consiste nel sottoporre un sottile nastro di acciaio all'azione magnetizzante di un piccolo elettromagnete eccitato dalle correnti provenienti da un amplificatore, come schematicamente è indicato in fig. 223.

Quando si parla dinanzi al microfono, si producono correnti variabili che opportunamente amplificate vanno ad attraversare

(1) Quando la velocità è minore, la durata della registrazione è maggiore. Tuttavia al problema della velocità è connesso tutto un gruppo di problemi inerenti alla bontà della riproduzione acustica. Non conviene diminuire il numero di giri al disotto di un certo limite.

l'avvolgimento dell'elettromagnete incisore e quindi provocano nel nastro che scorre a velocità costante dinanzi a uno dei poli dell'elettromagnete stesso, magnetizzazioni più o meno intense e variabili col ritmo della voce. Queste magnetizzazioni restano impresse lungamente, comai ha provato l'esperienza.

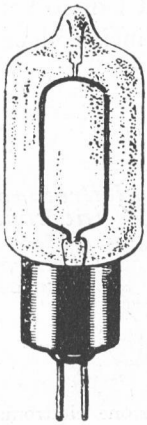


FIG. 224. - La cellula fotoelettrica è un'ampolla elettronica che si può paragonare ad un diodo. L'emissione degli elettroni è qui ottenuta per l'azione di un raggio luminoso sopra uno strato fotosensibile di metallo alcalino o alcalino-terroso.

Per la riproduzione si fa scorrere il nastro di acciaio con la stessa velocità con cui è stato registrato, dinanzi al polo di un altro elettromagnete. Per effetto delle magnetizzazioni più o meno intense impresse sul nastro, si vengono a indurre nell'avvolgimento dell'elettromagnete f. e. m. che opportunamente amplificate, riproducono i suoni registrati a mezzo di un altoparlante.

117. - Il cinema sonoro. — Tralasciamo la descrizione dei sistemi, ora abbandonati, che facevano uso di dischi grammofonici la cui rotazione era resa sincrona col movimento della macchina di proiezione. Le moderne pellicole sonore utilizzano, invece, la proprietà posseduta dalla *cellula fotoelettrica* di trasformare le variazioni d'intensità di un raggio luminoso in correnti elettriche variabili.

La cellula fotoelettrica è costituita da una piccola ampolla di vetro vuota d'aria (o contenente un gas a pressione molto bassa) rivestita internamente da un sottile deposito, ottenuto in certe condizioni, di un metallo alcalino o alcalino-terroso. S'impiegano il sodio, il potassio, il litio e più recentemente, il cesio e il tallio. Questo velo metallico costituisce il *càtodo* ed è a contatto con uno

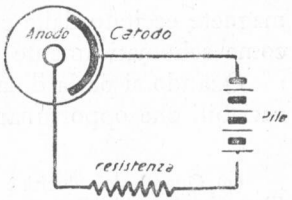


FIG. 225. - Circuito fondamentale della cellula fotoelettrica.

dei due terminali dell'ampolla. L'*ànodo*, invece, è formato da un filo metallico piegato a cerchio.

Se un raggio luminoso colpisce il deposito metallico, questo libera elettroni proprio come si verifica nella valvola di FLEMING per effetto del riscaldamento del càtodo. Inserita la cellula in un circuito come quello di fig. 225, l'ànodo, reso positivo dalla batteria, richiama gli elettroni liberati dal càtodo e nel circuito fluisce una corrente. Se l'illuminazione cui viene sotto-

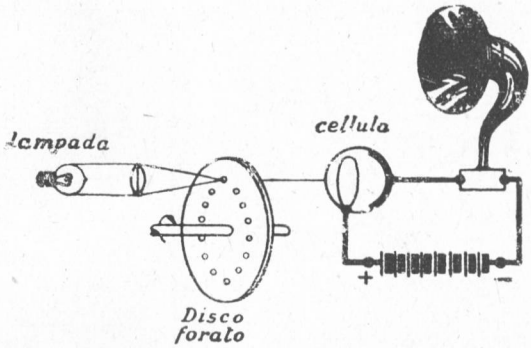


FIG. 226. - La figura illustra un semplice esperimento per dimostrare come le variazioni di luce possano essere trasformate in correnti elettriche variabili e quindi in suoni a mezzo della cellula fotoelettrica.

posta la cellula è costante, anche la corrente che attraversa il circuito è costante; ma se la cellula è colpita da una radiazione luminosa che, in un modo qualsiasi viene resa variabile, anche la corrente che fluisce attraverso il circuito è variabile. Ecco a tale proposito un'esperienza istruttiva. Una lampada è disposta di fronte ad una cellula fotoelettrica, ma un disco forato intercetta i raggi luminosi. Facendo girare il disco, il raggio di luce è periodicamente interrotto e la corrente che attraversa il circuito varia corrispondentemente. Se nel circuito viene inserito un ricevitore telefonico, si ascolta un suono la cui altezza dipende dal numero di fori predisposti sul disco e dal numero di giri che questo compie nell'unità di tempo.

Nel cinema sonoro, la registrazione della musica e dei suoni viene effettuata sulla stessa pellicola ove sono impressionati i

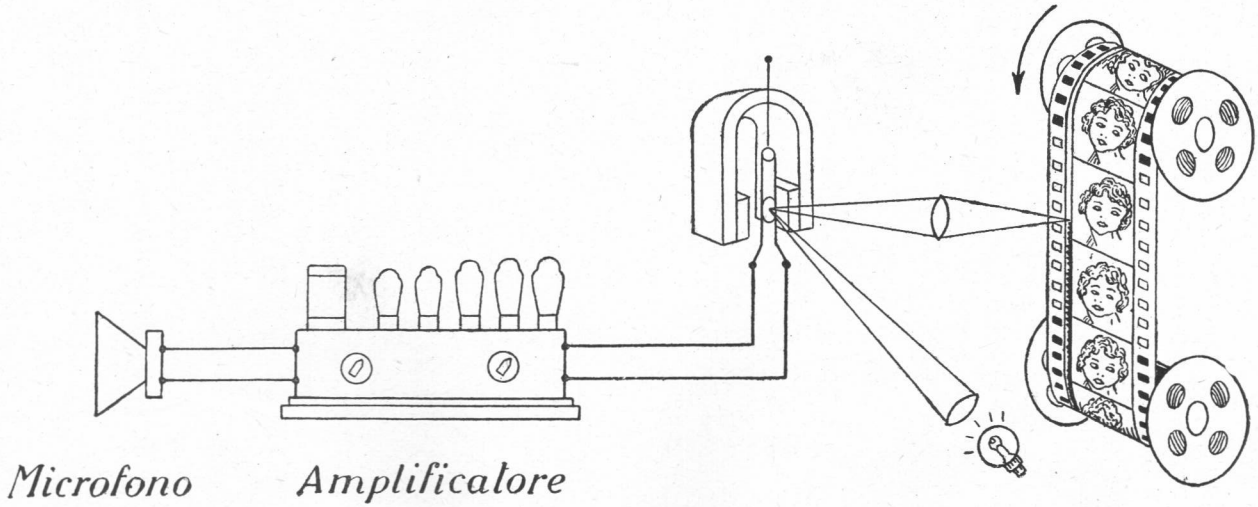
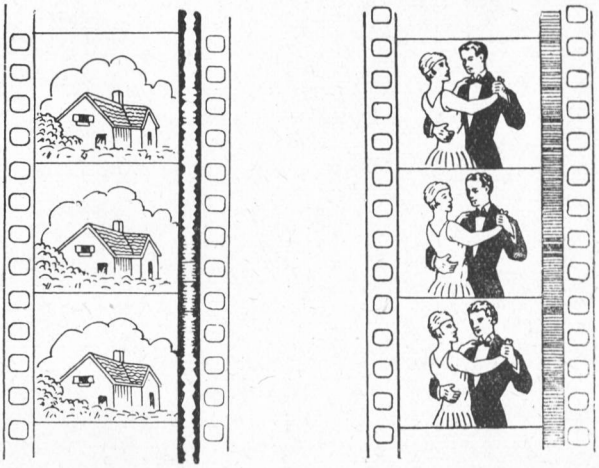


FIG. 227. - Qui è indicato schematicamente il sistema di registrazione ad area variabile della colonna sonora a mezzo di un oscillografo elettromagnetico.

fotogrammi. Ed ecco come viene realizzata questa registrazione. I sistemi più impiegati in pratica sono due: registrazione *ad area variabile* e registrazione *a densità variabile*.

Alla prima categoria appartengono il sistema *Photophone* e quello *Visatone*. Durante la ripresa, mentre viene fotografata



a) *b*)

FIG. 228. - Colonna sonora delle moderne pellicole cinematografiche: *a*) registrazione ad area variabile; *b*) registrazione a densità variabile.

la scena a mezzo delle usuali macchine cinematografiche, uno o più microfoni raccolgono suoni e parole che si traducono in correnti variabili. Queste, opportunamente amplificate, agiscono sopra uno speciale galvanometro magnetoelettrico (1) e ne fanno oscillare l'equipaggio munito di un minuscolo specchietto sul quale cade un raggio di luce inviato da una lampada ad incandescenza. Le oscillazioni di questo raggio luminoso impressionano più o meno il *film* che scorre con velocità costante nell'apparecchio di registrazione (detto comunemente *recorder*). Sviluppata la pellicola con i soliti procedimenti fotografici, la registrazione dei suoni si presenta come è visibile in fig. 228 *a*).

È necessario che la macchina di ripresa ottica e quella di ri-

(1) Detto meglio *oscillografo*.

presa sonora abbiano la stessa velocità: a tale scopo esse sono azionate da motorini elettrici sincroni alimentati dalla stessa corrente, generata da speciale gruppo convertitore; ma si at-

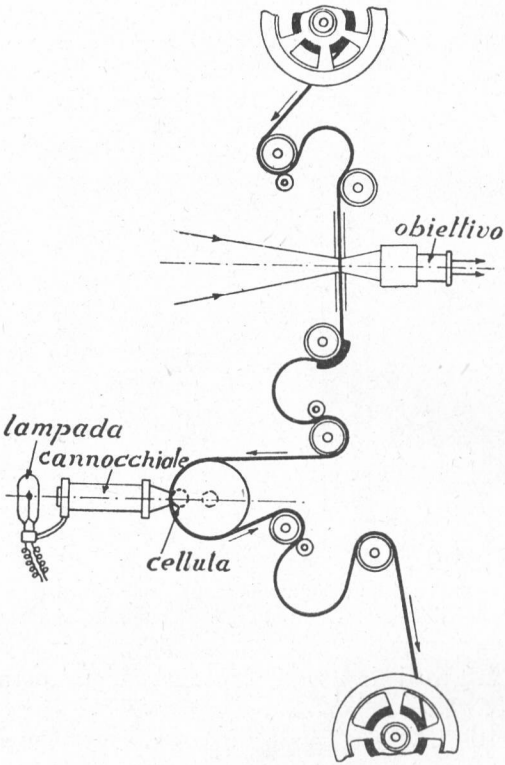


FIG. 229. - Qui è indicato schematicamente il percorso del film nell'apparecchio di proiezione. Il film passa prima dinanzi all'obbiettivo e successivamente attraversa la *testa sonora* ove va ad eccitare la cellula fotoelettrica per la riproduzione acustica.

tuano anche altri sistemi, elettrici o meccanici, per conservare inalterata tale velocità durante la ripresa.

Si ottengono così due pellicole: una è il negativo ottico sul quale sono registrati i fotogrammi e l'altro è il negativo sonoro sul quale sono riprodotti i suoni. Le due pellicole vanno, poi,

stampate insieme e alla registrazione sonora viene riservata una striscia larga mm 1,8 distante 7,15 mm dall'orlo della pellicola. Questa striscia costituisce la *colonna sonora*. Nella sovrapposi-

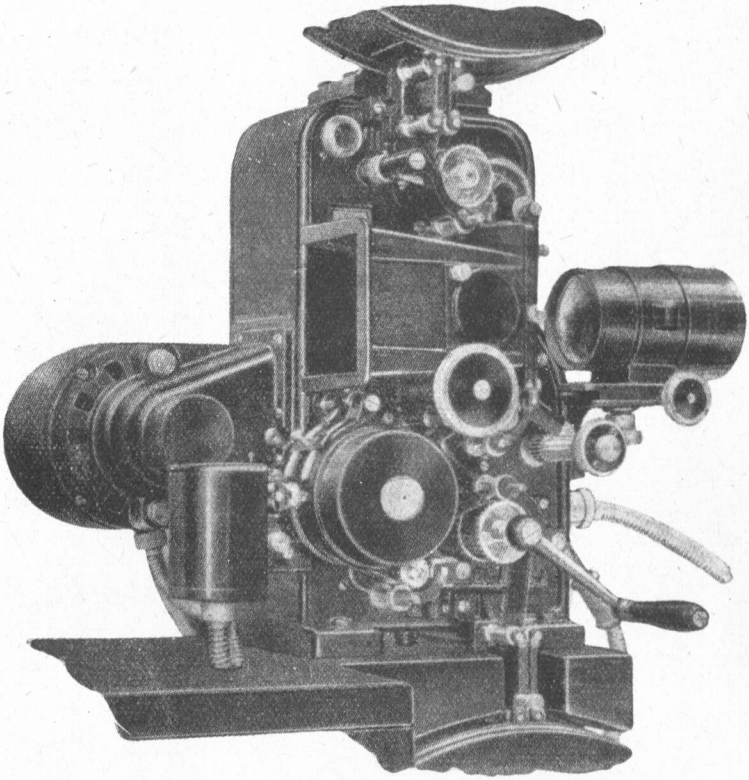


FIG. 230. - Testa sonora di un moderno proiettore cinematografico.

zione dei due film è necessario fare in modo che la colonna sonora sia avanzata di circa mezzo metro rispetto al corrispondente fotogramma.

La macchina di proiezione comprende la lanterna e il meccanismo per l'avanzamento del film. Questo, dopo essere passato dinanzi all'obiettivo, viene trascinato da un gruppo d'ingranaggi e perviene alla *testa sonora* ove si ottiene la riproduzione

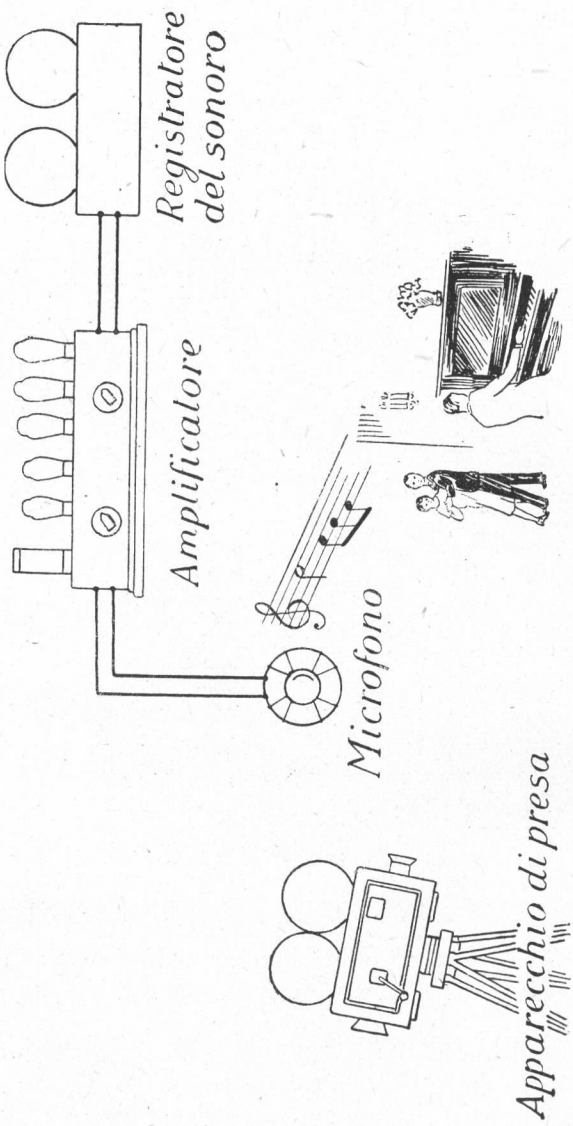


FIG. 231. - Ecco indicato schematicamente come si procede alla ripresa di una pellicola sonora. Mentre l'apparecchio di presa esegue la fotografia del soggetto in movimento, un microfono raccoglie i suoni e li trasforma in correnti variabili. Queste correnti, opportunamente amplificate, agiscono nell'apparecchio di registrazione acustica e impressionano il negativo dei suoni. È necessario assicurare il perfetto sincronismo tra il movimento dell'apparecchio di presa e quello del registratore dei suoni.

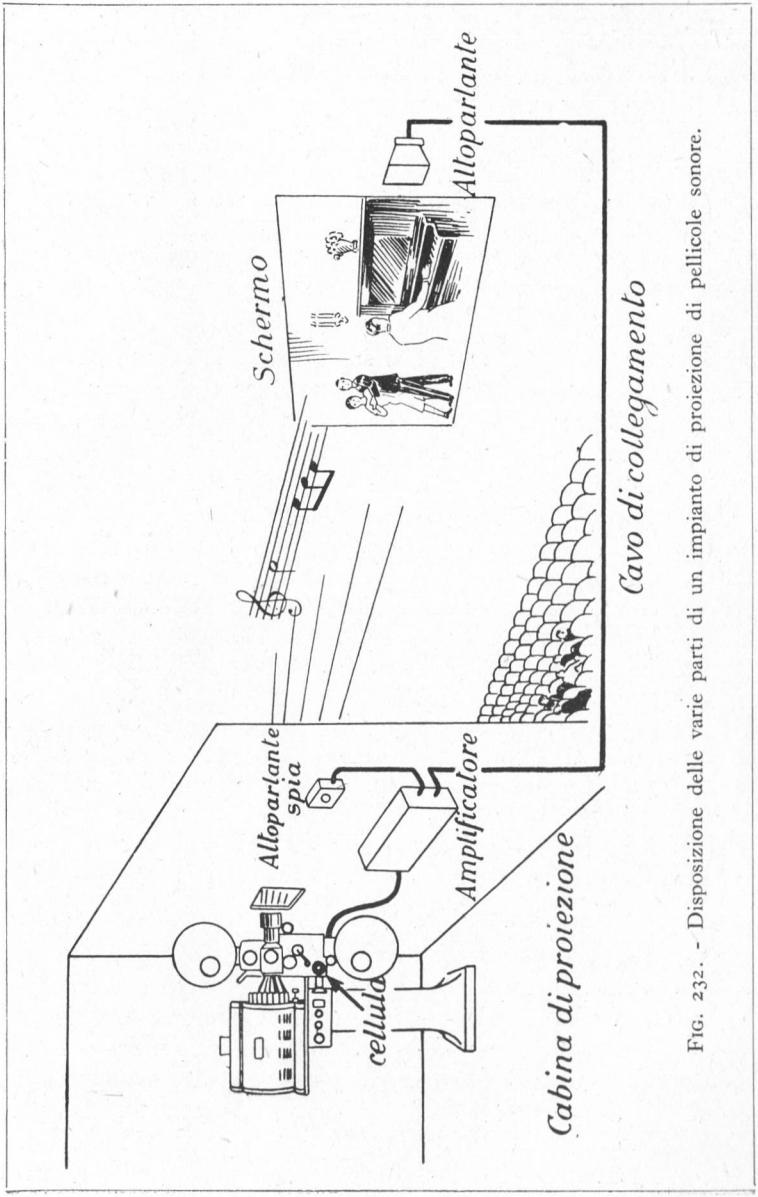


FIG. 232. - Disposizione delle varie parti di un impianto di proiezione di pellicole sonore.

dei suoni. La testa sonora è costituita da un sistema ottico che permette di concentrare sulla colonna sonora l'immagine di una piccolissima fessura rettangolare illuminata da una lampada ad incandescenza. Una cellula fotoelettrica viene colpita dal raggio luminoso intercettato dalla colonna sonora della pellicola e in corrispondenza delle zone più o meno trasparenti si ottengono correnti più o meno intense nel circuito anodico della cellula. Un amplificatore permette di amplificare queste correnti sino a renderle udibili a mezzo di un altoparlante situato dietro lo schermo di proiezione.

Nel sistema di registrazione a densità variabile, la disposizione delle apparecchiature è la stessa. Però le correnti amplificate che provengono dal microfono invece di agire sull'equipaggio oscillante di un galvanometro, vengono portate ad una speciale lampada a luminescenza la quale traduce le correnti variabili in variazioni di luce. La lampada è disposta dietro una sottile fenditura rettangolare e un sistema ottico provvede a formare sulla pellicola in movimento, un'immagine di questa. La registrazione sonora si presenta come è indicato in fig. 228 *b*). La riproduzione avviene poi nello stesso modo già indicato per il sistema precedente.

La velocità di scorrimento della pellicola è di 0,476 m al secondo, pari a 24 fotogrammi. Nel film muto, invece, venivano proiettati 16 fotogrammi al secondo. L'aumento di velocità è consigliato dalla necessità di ottenere una buona riproduzione delle note più alte (cioè, di frequenza maggiore).

Particolari accorgimenti devono essere attuati nelle macchine di proiezione per ottenere che il movimento della pellicola dinanzi alla cellula sia regolare e proceda senza trepidazioni e senza scosse. In generale si ricorre a un volano di compensazione.

118. - Telefonia a raggi infrarossi. — Una recente applicazione della cellula fotoelettrica è la telefonia a raggi infrarossi. Si tratta di radiazioni invisibili che nel complesso hanno caratteristiche press'a poco eguali a quelle della luce ordinaria. Come la luce, si propagano in linea retta, ma non si lasciano troppo assorbire dalla nebbia.

Un trasmettitore per telefonia a raggi infrarossi comporta

essenzialmente una lampada ad incandescenza disposta nel fuoco di uno specchio parabolico. Uno schermo speciale assorbe le radiazioni visibili e lascia passare solo quelle invisibili.

L'apparato ricevente consta esso pure di un eguale specchio parabolico nel cui fuoco è disposta una cellula fotoelettrica sensibile alle radiazioni infrarosse. I due apparati vanno collocati a portata ottica, l'uno di fronte all'altro.

Le correnti di un microfono, opportunamente amplificate, possono modulare le radiazioni emesse dalla lampada del trasmettitore. La cellula dell'apparato ricevente più o meno influenzata dalle radiazioni, provoca correnti variabili che amplificate agiscono in un ricevitore telefonico, nel quale si ascoltano i suoni emessi dinanzi al microfono.

119. - La telefotografia e la televisione. — La *telefotografia* permette la trasmissione di disegni, manoscritti, fotografie a distanza a mezzo di filo o delle onde elettromagneti-

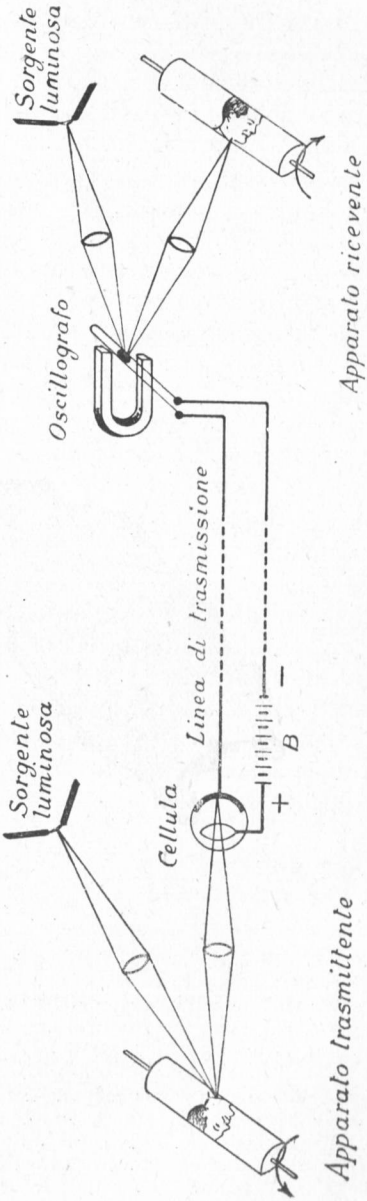


Fig. 233. - Come ha luogo la trasmissione e la ricezione di immagini col sistema Belin.

che. La *televisione* consente, invece, la trasmissione di una scena animata.

La telefotografia nel suo stato attuale può dirsi perfetta e numerosi sono gl'impianti in funzione. Ne usufruiscono i grandi giornali, lo Stato e la polizia per la trasmissione di documenti, le Banche per raccogliere a distanza firme originali di loro clienti, ecc. Invece, la televisione non ha raggiunto la sua fase definitiva e, sebbene siano molteplici gl'impianti in funzione, soprattutto in America, essa non può dirsi entrata sufficientemente nel campo pratico.

Per la trasmissione delle immagini si richiede:

1) un'esplorazione *punto per punto* dell'immagine da trasmettere;

2) la trasformazione dei chiari e degli scuri successivamente esplorati, in corrispondenti variazioni di corrente;

3) la trasmissione di queste correnti su linea metallica oppure la modulazione a mezzo di esse di un trasmettitore radiotelefonico.

Queste successive operazioni possono essere ottenute con vari sistemi dovuti a diversi inventori (1). Descriviamo uno dei sistemi più usati, ideato da BELIN.

L'immagine da trasmettere viene avvolta sopra un cilindro animato da movimento elicoidale. Un obiettivo concentra sul cilindro un fascetto luminoso, che a mezzo di un diaframma, si riduce ad un punto avente circa 0,25 mm di diametro. Una cellula fotoelettrica viene impressionata dalla luce emessa da questo punto luminoso e, a causa del movimento elicoidale del cilindro, *guarda punto per punto* tutta l'immagine avvolta su di esso; le correnti anodiche di questa cellula sono più in-

(1) L'idea di trasmettere figure a distanza a mezzo di correnti elettriche risale al 1842 ad opera di BAIN, che utilizzava le azioni elettrolitiche della corrente. Un apparato consimile fu sperimentato nel 1847 da BAKEWELL. Nel 1862, l'abate CASELLI costruì egli pure un apparecchio per trasmettere immagini. In seguito fu adoperata la cellula al selenio per trasformare le variazioni di luce in correnti elettriche variabili. Ma la cellula al selenio è troppo inerte e non segue fedelmente le rapide variazioni di luce. BELIN, HOLWECK, MIHALY, KAROLUS, BAIRD sono nomi di studiosi di moderni apparati di televisione. A NIPKOW è dovuta l'idea di analizzare l'immagine a mezzo di un disco forato. Ma ogni perfezionamento sarebbe stato impossibile senza l'avvento della cellula fotoelettrica e del tubo oscillografico.

tense in corrispondenza dei punti chiari e meno intense in corrispondenza dei punti scuri.

L'apparecchio ricevitore comporta un cilindro completamente eguale e rotante a velocità identica a quella del trasmettitore. Una carta o pellicola fotografica è avvolta sopra il cilindro che è chiuso in una camera oscura. Sul cilindro viene proiettato un raggio di luce riflesso da un minuscolo specchio solidale coll'equipaggio mobile di un oscillografo magnetoelettrico. L'oscillografo riceve gl'impulsi più o meno intensi che provengono dal trasmettitore e la luce rinviata dallo specchietto passa attraverso un piccolo foro che la intercetta più o meno. Sviluppando la carta fotografica con i soliti sistemi, si ottiene una riproduzione abbastanza fedele del disegno trasmesso.

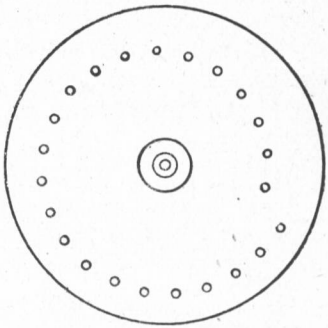


FIG. 234. - Il disco di NIPKOW per l'esplorazione dell'immagine in televisione.

Il perfetto sincronismo tra la rotazione del disco analizzatore e di quello ricevitore è ottenuto a mezzo di *diapason* di lega *invar* che comandano corrispondenti ruote foniche.

Il passo con cui si sposta assialmente il cilindro è di 0,25 mm. Con questo sistema, un disegno di 10 × 15 cm viene trasmesso in circa sei minuti.

Il problema della trasmissione di scene e figure in movimento non è essenzialmente diverso da quello ora esaminato. Si tratta pure di esplorare punto per punto la figura da trasmettere mediante un raggio luminoso; trasformare, poi, le successive illuminazioni in correnti variabili; infine trasmettere su linea o per radio questi impulsi di corrente.

Tuttavia, se si vuole ricevere un'immagine fedele e dettagliata, è necessario che l'esplorazione effettuata a mezzo del raggio analizzatore sia molto rapida e sia successivamente ripetuta più volte in un secondo. Infatti, l'analisi effettuata dal raggio luminoso viene a scomporre la figura da trasmettere in

un mosaico, vale a dire in numerosi punti: la riproduzione che poi si ottiene in ricezione è tanto migliore quanto maggiore è il numero dei punti in cui la figura è stata scomposta. Attualmente, i televisori scompongono la figura da trasmettere in 400 righe e ciascuna di queste in 400 punti, in modo da ottenere 160 mila punti. L'analisi completa è effettuata in 1/25 di secondo soltanto!

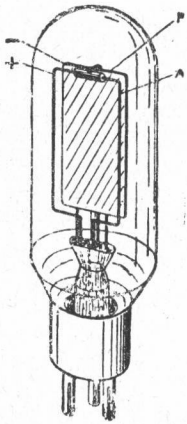


FIG. 235. - La lampada a luminescenza a gas raro. Sulla placca (dimensioni circa 70 × 40 mm) si forma l'immagine in ricezione.

Per ottenere l'analisi della figura da trasmettere, vi sono diversi sistemi, di cui due più importanti: quello *meccanico* e quello *elettrico*.

Il sistema di scansione meccanica oggi è abbandonato e lo descriviamo solo per la sua importanza teorica. Esso può essere realizzato in vari modi. Secondo il metodo ideato da NIPKOW, un disco è fatto girare con moto rigorosamente costante a mezzo di un motore elettrico. Il disco porta una serie di fori disposti lungo una spirale. Un raggio di luce passa successivamente per ciascuno dei fori del disco e illumina la figura da trasmettere, suddividendola in numerose strisce contigue. Durante un giro del disco l'immagine viene esplorata completamente. In pratica, il disco porta sino a qualche centinaio di fori e compie circa venti giri al secondo. La luce riflessa dai singoli punti esplorati, raccolta da una o più cellule fotoelettriche, viene tradotta in impulsi di corrente che servono a modulare il radiotrasmettitore.

Vediamo, ora, come avviene la ricezione dell'immagine. I segnali che provengono dall'antenna giungono ad un ordinario apparecchio ricevente, la cui uscita, invece di essere collegata ad un altoparlante, fa capo agli elèttrodi di una lampada a luminescenza.

La lampada a luminescenza è costituita da un'ampolla cilindrica di vetro che contiene due elèttrodi: uno di essi a forma di placca rettangolare ha la funzione di càtodo, mentre l'ànodo è

costituito da una cornice che circonda il càtodo alla distanza di circa 3 mm. L'ampolla è riempita di gas *neon* sotto bassissima pressione. Se la lampada viene alimentata a tensione costante,

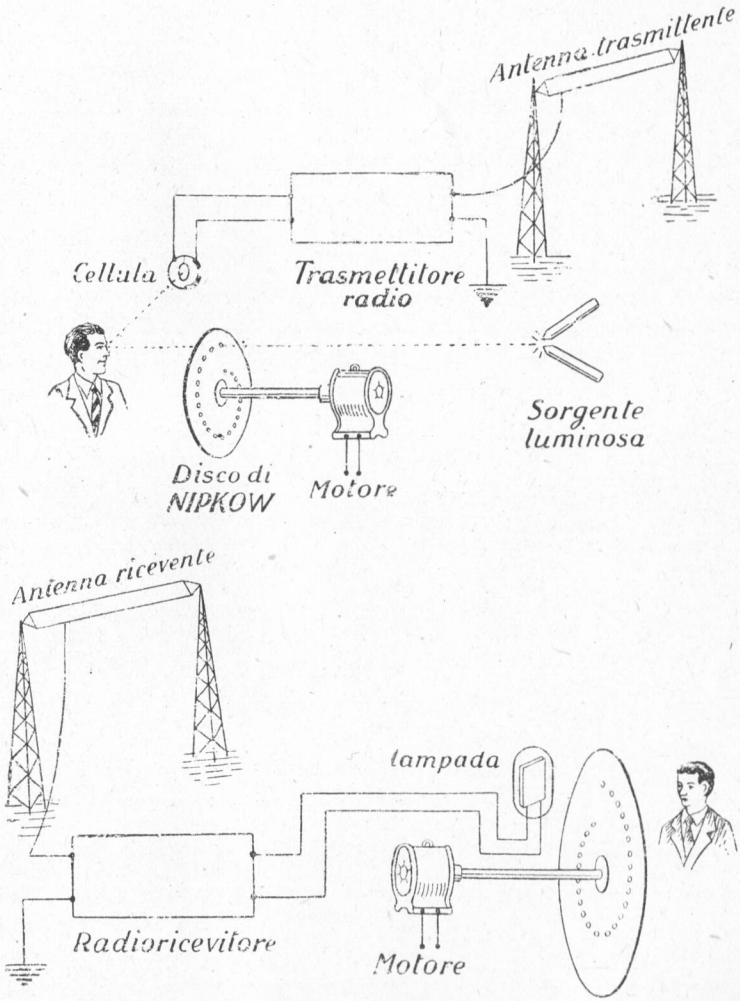


FIG. 236. - Ecco schematizzato come avviene la trasmissione e la ricezione delle immagini e scene animate nel sistema che impiega il disco di NIPKOW in trasmissione e la lampada a luminescenza in ricezione.

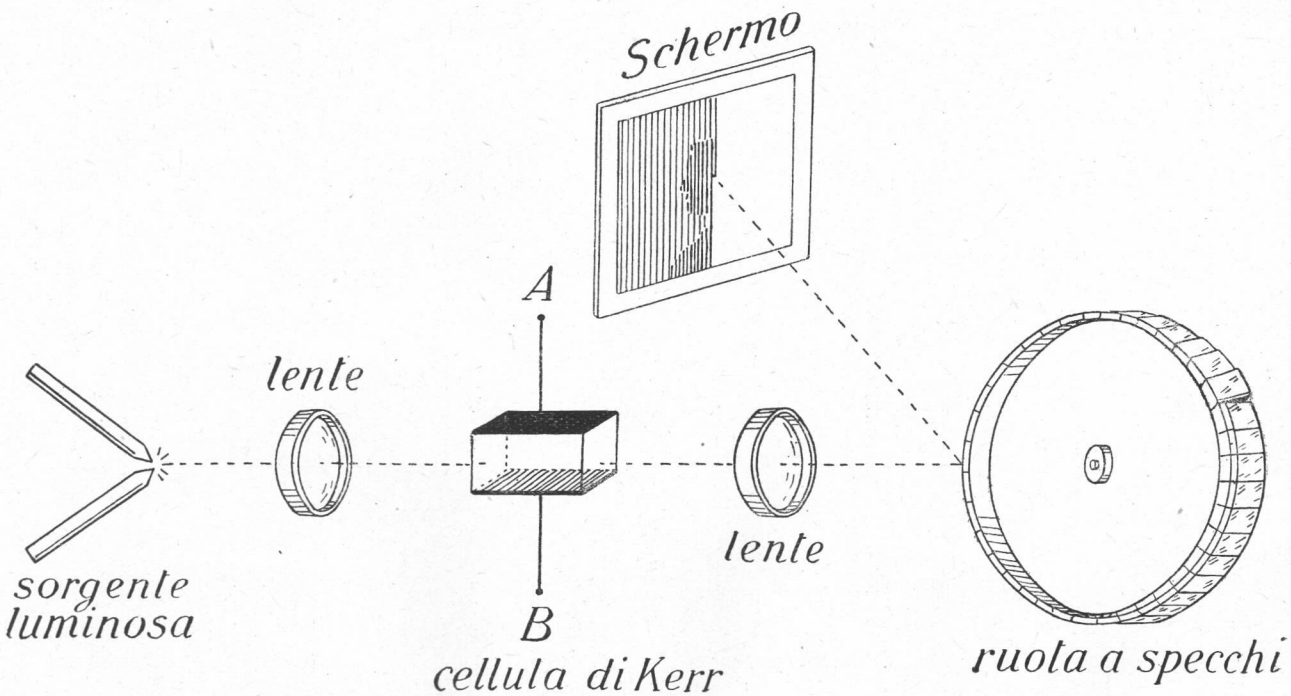


Fig. 237. - Un sistema impiegato per ottenere la proiezione dell'immagine su grande schermo. Si utilizzano le proprietà della cellula di Kerr e una ruota a specchi diversamente inclinati, ideata da Weiller.

si vede la placca colorarsi uniformemente di una lieve tinta arancione; per contro, ogni variazione nella tensione applicata si trasforma in una variazione istantanea della luminosità del càtodo.

Per azione degli impulsi che provengono dal radioricevitore, la lampada accusa dunque fluttuazioni della sua luminosità che corrispondono perfettamente alle variazioni d'illuminazione che agiscono sulla cellula fotoelettrica dell'apparato

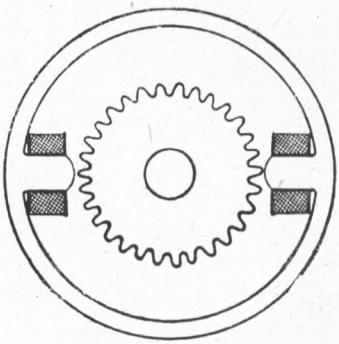


FIG. 238. - Dispositivo di sincronizzazione, per mantenere costante la velocità del disco ricevente.

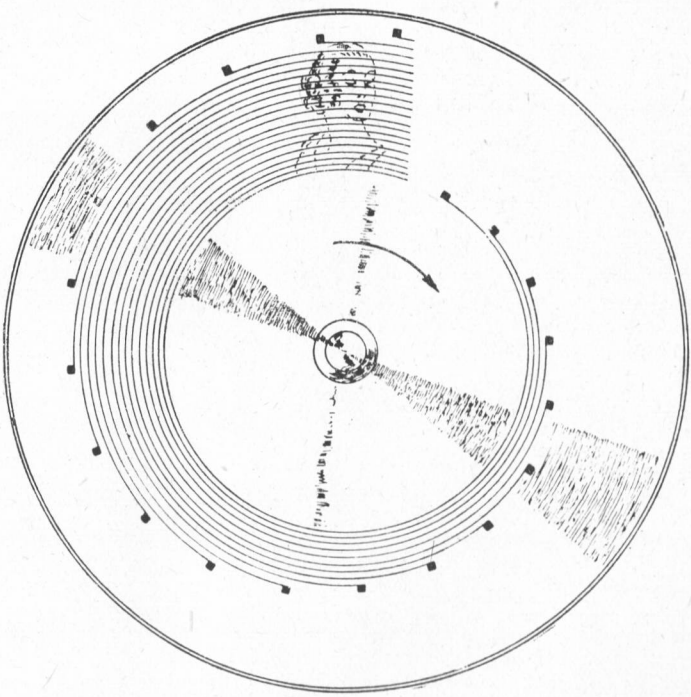


FIG. 239. - Come appare l'immagine attraverso i fori del disco.

trasmittente. Se questa lampada viene guardata attraverso un disco di NIPKOW identico a quello usato in trasmissione e che ruoti perfettamente in sincronismo con esso, si vedrà punto per punto comparire l'immagine, più o meno fedele, dell'oggetto trasmesso.

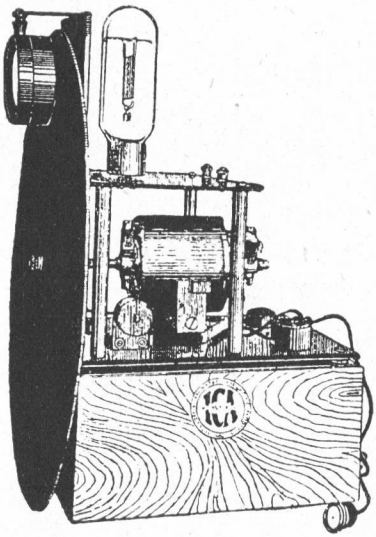


FIG. 240. - Insieme dell'apparato ricevente di televisione con disco e lampada luminescente. Si osservi la lente disposta anteriormente allo scopo d'ingrandire l'immagine fornita dalla lampada.

La maggiore difficoltà di questo sistema che si serve di un metodo puramente meccanico per esplorare l'immagine e per ricomporla consiste nel mantenimento del sincronismo. È necessario che il disco del ricevitore occupi, in ogni istante, la medesima posizione di quello che ruota nell'apparecchio trasmittente. Questa condizione viene assicurata lanciando ad intervalli eguali di tempo, segnali di sincronismo che, filtrati in arrivo a mezzo di speciali circuiti, vanno ad attraversare gli avvolgimenti di una coppia di elettromagneti che agiscono sopra una corona di magneti permanenti che ruotano solidalmente col disco. Un dettaglio di questo dispositivo di sincronismo è visibile in fig. 238.

Altri sistemi di scansione meccanica sono: la ruota a specchi di WEILLER, e la spirale a specchi.

Ma, in tutti i moderni sistemi di televisione, si ricorre all'analisi ottenuta per via elettrica a mezzo dell'*oscillografo a raggi catodici.*

L'oscillografo catodico è, come la cellula fotoelettrica, una speciale ampolla elettronica. Immaginate un tubo di vetro della forma di fig. 243. Un filamento di tungsteno (o meglio un càtodo a riscaldamento indiretto, simile a quello impiegato nelle

valvole termoioniche), provoca l'emissione di un fascio di elettroni che vengono richiamati da un dischetto metallico che ha funzione di ànodo. Questo dischetto è forato al centro in modo che il fascio elettronico si riduca ad un sottile pennello che oltre-

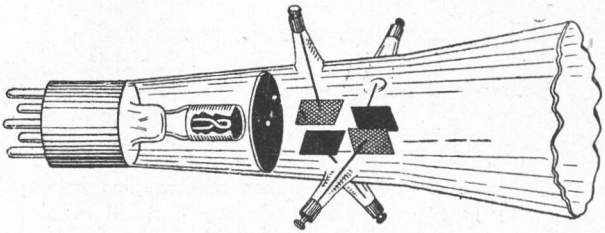


FIG. 241. - Disposizione degli elèttrodi in un moderno tubo oscillografico.

passando il disco forato, in grazia della notevole forza viva acquistata, va a colpire il fondo del tubo. Qui è disposto uno schermo ricoperto di speciale sostanza chimica che possiede la proprietà di diventare fluorescente in seguito all'urto degli

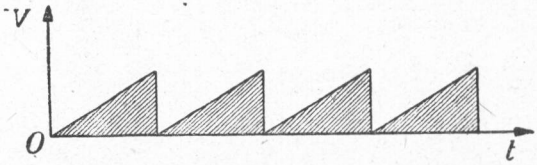


FIG. 242. - Forma delle oscillazioni a dente di sega atte a guidare il fascio elettronico a zig-zag in senso orizzontale.

elettroni. Pertanto vedremo formarsi un puntino luminoso al centro dello schermo.

È facile ottenere che il punto luminoso compia qualsivoglia spostamento o escursione sullo schermo. A tale scopo lungo il percorso del raggio elettronico sono disposte due coppie di placche deflettrici. Queste somigliano alle armature di un piccolo condensatore e sono collegate a morsetti esterni, come è visibile in fig. 241. Somministrando opportune cariche elettriche alle placchette deflettrici, il raggio elettronico

viene deviato in un senso o nell'altro e la macchia luminosa che compare sullo schermo si sposta corrispondentemente.

Esaminiamo il funzionamento dell'oscillografo per la ricezione di immagini in televisione. Le due coppie di placche

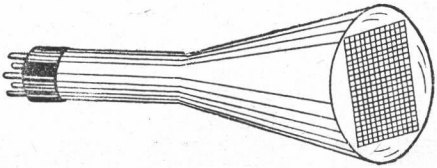


FIG. 243. - Sullo schermo del tubo il raggio elettronico crea, punto per punto, una specie di mosaico uniformemente illuminato.

deflettrici vengono in tal caso collegate ad uno speciale generatore di oscillazioni elettriche aventi la forma caratteristica indicata in fig. 242 e che vengono chiamate oscillazioni *a dente di*

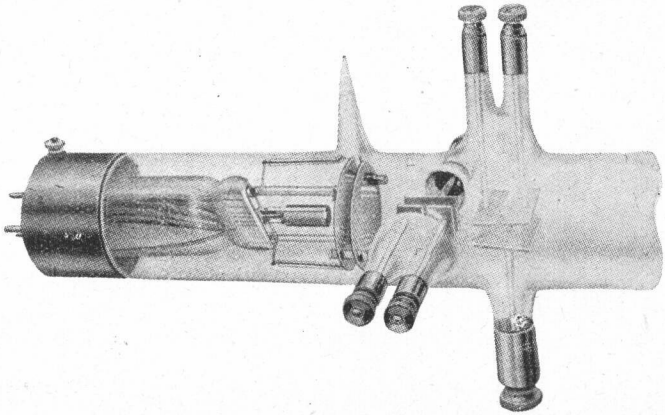


FIG. 244. - Moderno tubo oscillografico: sono visibili il càtodo, la placca forata e le placchette deflettrici sia in senso orizzontale che verticale.

sega. Sotto l'azione di questi impulsi di tensione, il raggio catodico si sposta linearmente lungo una riga e poi bruscamente torna al punto di origine. Per l'azione combinata delle due coppie di placche deflettrici, il raggio compie tali escursioni in

senso orizzontale e in senso verticale, e quindi esplora punto per punto tutta la superficie dello schermo. Questo si presenta allora uniformemente illuminato o quasi: infatti, esaminando da vicino lo schermo, esso compare solcato da numerose

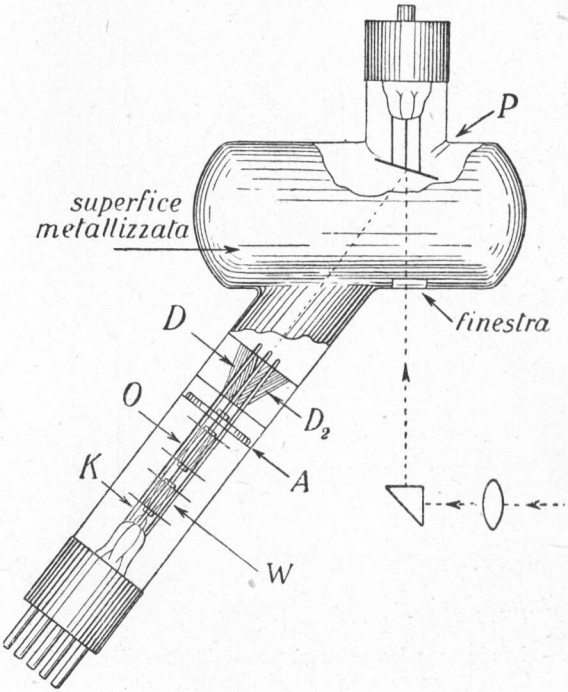


FIG. 245. - Iconoscopio di ZWORYKIN, tubo oscillografico modernamente impiegato in trasmissione e che consente di ottenere un'elevata finezza d'immagine.

linee, e, in ultima analisi, risulta suddiviso in un numero molto grande di punti, a guisa di mosaico.

Per veder comparire, ora, l'immagine è necessario che la piccola macchia luminosa che percorre lo schermo subisca delle fluttuazioni di luminosità in relazione alla luminosità dei vari punti dell'immagine analizzata dal disco dell'apparecchio trasmittente. A tale scopo, lungo il percorso del fascetto elettro-

nico si dispone un elèttrodo di comando (che si comporta un poco come la griglia dei trìodi): questo è costituito da un piccolo diaframma forato al centro in corrispondenza del foro praticato nell'ànodo. Gl'impulsi che provengono dal ricevitore vengono portati a questo elèttrodo il quale comandando il pas-

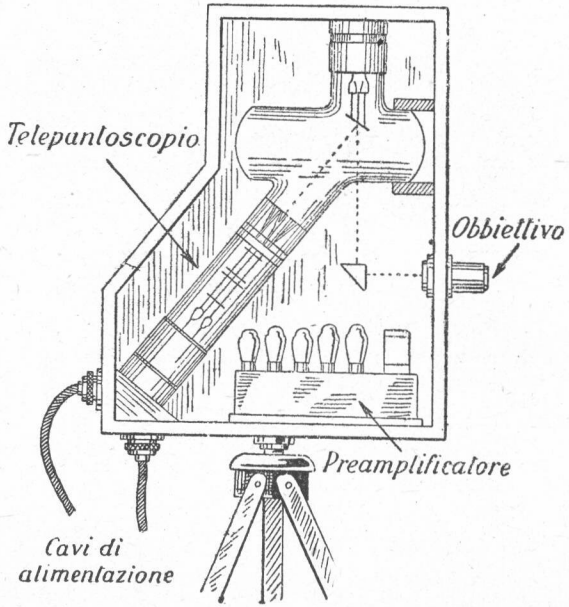


FIG. 246. - Moderna telecamera per trasmissione d'immagini e scene animate a mezzo dell'iconoscopio.

saggio degli elettroni, ne fa giungere un numero più o meno grande sullo schermo e quindi fa variare la luminosità del punto fluorescente. Sullo schermo compare una successione di punti più o meno chiari, che riproducono, come in un mosaico, l'intera immagine.

Ma il tubo catodico può essere impiegato anche per la trasmissione dell'immagine, evitando l'uso del disco o di altri sistemi analizzatori. La geniale innovazione è dovuta all'americano Dr. ZWORYKIN e il tubo costruito a tale scopo è detto *iconoscopio* (fig. 245). Si tratta di un'ampolla di vetro in cui è

sistemato un càtodo *K*, un cilindro concentratore *W*, e un ànodo *A*. Vi sono ancora due coppie di placche deflettrici o altro sistema equivalente che collegate a due generatori di oscillazioni a dente di sega fanno spostare rapidamente il fascetto elettronico in un senso e nell'altro, come avviene nell'oscillografo impiegato in ricezione. Il fascio elettronico colpisce una

FIG. 247. - Ecco come appare l'immagine sulla calotta del tubo oscillografico. Si osservi la *grana* dovuta al movimento del raggio elettronico sullo schermo.

piastra che si comporta come il càtodo di una cellula fotoelettrica. Questa piastra è costituita da un foglio di mica uniformemente ricoperto da un metallo alcalino fotosensibile e su di essa viene proiettata l'immagine che si vuol trasmettere. Quando il fascio elettronico esplora la piastra, libera dal metallo ivi depositato un numero di elettroni tanto più grande, quanto maggiore è la luminosità del punto colpito. È logico che ai chiari e scuri dell'immagine proiettata sulla piastra *P* corrispondono impulsi più o meno intensi di corrente. Questi, opportunamente amplificati, vanno a modulare il trasmettitore radio.

L'iconoscopio di ZWORYKIN permette di ottenere una grande finezza d'immagine ed elimina tutte le complicazioni derivanti

dall'uso degli analizzatori meccanici. Anche il mantenimento del sincronismo risulta più facile e sicuro. Ed è verso questo sistema che tutti gli studiosi di televisione rivolgono le loro ricerche.

Le trasmissioni televisive non sono possibili con trasmettitori ad onde medie. È necessario ricorrere ad onde molto corte (generalmente: 5 a 7 m). Infatti, dovendosi scomporre l'immagine in un numero molto grande di punti onde ottenere una figura con buoni dettagli, la modulazione del trasmettitore verrà eseguita con frequenza assai elevata. Poichè la frequenza di modulazione non deve eccedere uno o due per cento della frequenza della portante, s'impone l'uso di frequenze molto alte, cioè di onde ultracorte.

La televisione si può ritenere uscita dal suo stadio sperimentale. Già, in America, si parla di televisione a colori, di televisione stereoscopica, di ricezioni televisive su grande schermo. Presto questa nuova conquista della Scienza abbandonerà i laboratori di ricerche ed entrerà a far parte delle consuetudini della nostra vita quotidiana.

120. - Radiolocalizzazione a mezzo dei radar (1). — Il *radar* è un dispositivo che permette di rivelare e localizzare, con notevole precisione, qualsiasi ostacolo (navi, aerei, iceberg, scogli, isole, ecc.) che si frapponga alla propagazione delle radioonde.

Già da molti anni era nota la proprietà delle onde elettromagnetiche, specialmente quelle molto corte, di riflettersi al pari della luce incontrando un ostacolo e si era pensato di utilizzare questa proprietà per la sicurezza della navigazione aerea e marittima e per rivelare l'approssimarsi di navi o aeroplani nemici.

Nel 1937 furono eseguiti in America, sul campo del *Signal Corps* a Fort Monmonth, i primi esperimenti conclusivi sull'uso dei radiolocalizzatori, mantenendone segreti i risultati.

In Inghilterra, nel 1938, furono installate numerose stazioni

(1) Le notizie contenute in questo articolo sono dedotte dal Bollettino d'Ingegneria pubblicato dall'Ufficio Informazioni Stati Uniti, maggio 1946.

radar lungo le coste della Manica. A mezzo di queste stazioni era possibile individuare i bombardieri al di sopra degli aeroporti della Francia ed a seguirli fino alla costa.

Furono le necessità della guerra a spingere i tecnici americani ed inglesi a creare tipi sempre più perfezionati di radar. Un contributo veramente decisivo fu dato dall'Università di Birmingham che nel 1940 mise a punto un generatore di oscillazioni a frequenza elevatissima, impiegando un nuovo tipo di tubo elettronico appositamente ideato, denominato *magnetron a cavità*. A mezzo di questo tubo fu possibile ottenere onde di pochi centimetri con potenze eccezionalmente elevate.

Il magnetron a cavità è sostanzialmente un dìodo costituito da un càtodo a riscaldamento indiretto e da un ànodo massiccio di rame nel quale sono ricavate numerose cavità di forma cilindrica, ciascuna delle quali comunica col foro centrale in cui è alloggiato il càtodo, attraverso una fenditura.

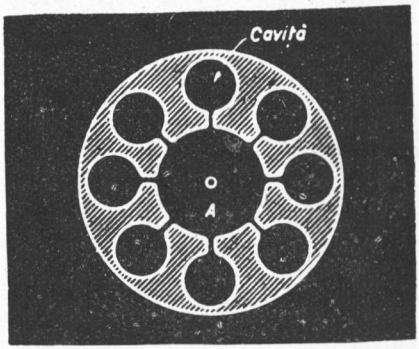


FIG. 248. - Forma di una delle lamine che costituiscono l'ànodo nel magnetron a cavità.

In pratica, l'ànodo è ottenuto sovrapponendo numerose lamine di rame aventi la forma indicata in fig. 248. Al centro della cavità *A* è disposto il càtodo, il quale emette elettroni radialmente. Tutto il tubo è immerso nel campo magnetico creato da un potente magnete e ciò provoca una rotazione degli elettroni emessi dal càtodo nell'interno della cavità centrale. Le cavità anodiche sono allora eccitate dal passaggio degli elettroni davanti alle fenditure, e in esse prendono origine delle oscillazioni la cui frequenza dipende dalle dimensioni delle cavità stesse. Una così detta *spira di accoppiamento*, contenuta in una delle cavità, permette di prelevare l'energia di alta frequenza per convogliarla nel circuito di utilizzazione.

A prima vista sembrerebbe che il magnetron a cavità possa

fornire oscillazioni di frequenza fissa, non potendosi modificare le dimensioni delle cavità anodiche: ma, in effetti, modificando le caratteristiche elettriche del circuito connesso con l'uscita a radio frequenza, è possibile variare la frequenza delle oscillazioni generate, sino al 10% del valore fondamentale.

La *potenza media* ritraibile dai magnetron a cavità è dell'ordine di alcune centinaia di watt. Ma poichè nei radar si devono generare impulsi della durata solo di qualche microsecondo e di tali impulsi se ne generano un migliaio in un secondo, ciò che più interessa è la potenza ritraibile durante uno di tali impulsi o, come suol dirsi, la *potenza di cresta*. Quest'ultima può essere anche di alcune migliaia di kilowatt, in certi tipi.

Il magnetron a cavità, conosciuto in America nel settembre del 1940, fu costruito in grandi serie dai *Bell Telephone Laboratories*. Le esperienze sull'uso di questi nuovi tubi elettronici e sulla loro possibilità d'impiego nei radar, furono continuate dal *Radiation Laboratory* dell'Istituto di Tecnologia del Massachussets, che riuscì alla realizzazione di questi apparati.

Successivamente, la grande industria americana affrontò in pieno la costruzione in serie dei radar, in tipi più perfezionati, e fu possibile così dotarne navi ed aerei e creare numerose stazioni a terra, per la sicurezza delle coste e delle unità operanti.

Il principio di funzionamento dei radar è il seguente: un trasmettitore emette treni di onde cortissime a mezzo di speciali antenne che abbiano spiccate caratteristiche di dirigibilità e orientabili a volontà a mezzo di comandi a distanza.

Quando un treno di onde incontra un ostacolo, si riflette e torna indietro verso la stazione emittente, dove viene captato da apposito ricevitore. È possibile allora osservare sulla calotta di un tubo oscillografico, simile a quello impiegato in televisione, i diagrammi delle oscillazioni emesse e di quelle ricevute, in modo da poter misurare il tempo impiegato dal treno d'onda per compiere l'intero percorso di andata e di ritorno, tempo che è proporzionale alla distanza dell'ostacolo dal radar.

Ma, per individuare la posizione esatta dell'ostacolo, non basta conoscere solo la distanza. È necessario misurare l'angolo che il fascio di onde che colpiscono l'ostacolo forma con il piano orizzontale e l'angolo che lo stesso fascio forma con una dire-

zione fissa di riferimento, che in generale è quella nord-sud. Questi due angoli sono rispettivamente chiamati *sito* e *azimut*.

A tale scopo, le antenne riflettenti sono montate su apposito piedestallo e possono essere fatte ruotare orizzontalmente e in elevazione a mezzo di volantini.

Il ricevitore è munito di tre tubi oscillografici, su uno dei

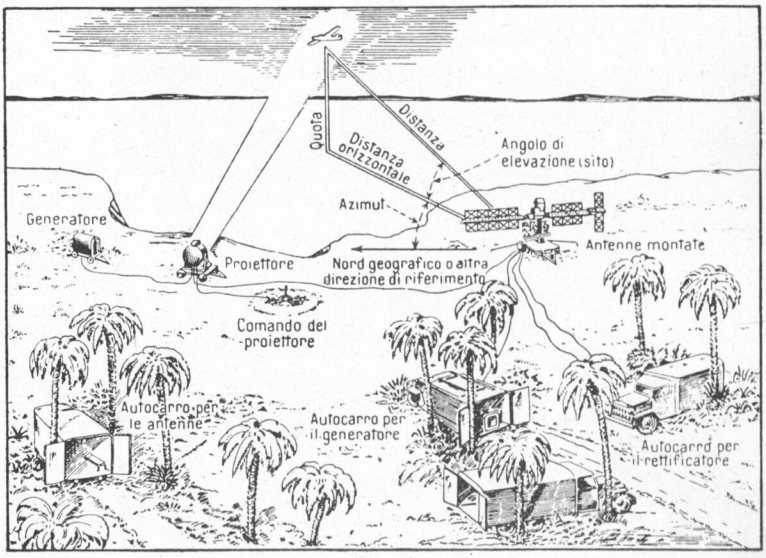


FIG. 249. - Disposizione delle diverse parti di un'apparecchiatura *radar* per la scoperta e l'inseguimento antiaereo.

quali si osserva l'azimut, sull'altro l'elevazione, e sul terzo la distanza. Ciascuno di questi tubi è osservato da un operatore cui è affidato il compito di manovrare i volantini di punteria del radar, in modo da far ruotare le antenne, mantenendo costantemente l'immagine degli impulsi nel campo visivo dell'oscillografo.

Un impiego assai importante del radar si ha nella protezione antiaerea. Infatti i movimenti dei volantini di comando delle antenne possono essere trasmessi, attraverso circuiti elettrici

che azionano dei servomotori, ai proiettori ottici e alle bocche da fuoco. In tal modo, l'aereo nemico viene tenuto centrato automaticamente nel fascio luminoso dei proiettori e sotto il tiro antiaereo (fig. 249).

Ma un'altra applicazione importante del radar è quella conosciuta col nome di sistema *PPI* (*plan position indicator*) che permette addirittura una visione degli ostacoli incontrati dal fascio di onde radioelettriche nella sua propagazione. Così un

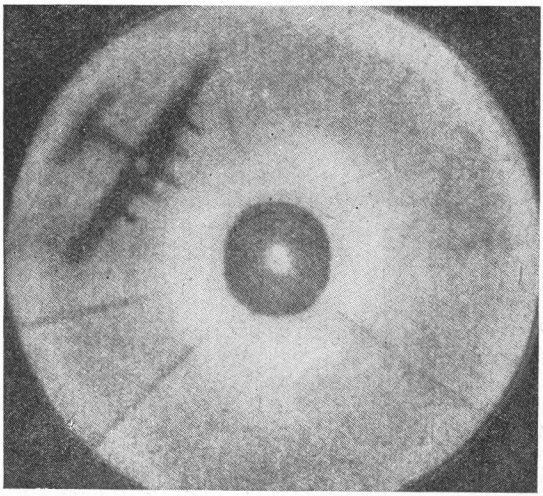


FIG. 250. - Immagine di un quadrimotore ottenuta a mezzo di *radar sistema PPI.*

radar installato a bordo di un aereo, può irradiare onde verso il terreno sottostante e raccoglierne echi sul tubo oscillografico. La tensione di griglia di questo tubo è regolata in modo da rendere normalmente oscura la traccia del pennello elettronico; ma, quando giunge un eco al radioricevitore, la traccia diviene momentaneamente luminosa, e l'insieme di tutte le traccie può dare, punto per punto, una vera e propria rappresentazione del terreno sottostante (fig. 250).

Nella navigazione marittima, questo sistema può essere im-

piegato per determinare l'andamento delle coste, per scoprire, anche nel caso di fitta nebbia (che non intralcia la propagazione delle onde elettromagnetiche) ostacoli che rendano pericolosa la navigazione.

La lunghezza d'onda impiegata nei moderni apparati è sempre dell'ordine di pochi centimetri, con potenza di cresta di molte centinaia di kilowatt.

Il radar, sorto e rapidamente perfezionatosi negli anni torbidi della guerra, è stato della guerra stessa una delle armi più poderose ed efficaci. Ma, ora tecnici e scienziati continuano la loro opera di pazienti ricercatori perchè questo magico strumento, capace di frugare nelle tenebre e nella nebbia, possa trovare utile applicazione nella navigazione marittima e aerea, per rendere agevoli e sicuri quei traffici che dovranno aprire nuove feconde strade al divenire della Civiltà e del Progresso scientifico.

INDICE ALFABETICO

Abaco per il calcolo della lunghezza d'onda, 36, 37.
Accensione:
batteria di, 83, 178.
reostato di, 82.
Accoppiamento:
coefficiente di, 50, 147.
dei circuiti oscillanti, 48.
di antenna, 147.
elettromagnetico, 48.
elettronico, 98.
intervalvolare, 136, 137.
Accordo (vedi pure: *Sintonia*), 160.
Condensatore di, 26.
Aerei (vedi: *Antenne*), 2, 46, 54.
Alimentatori, 92.
a diodo, 88.
a vibrazione, 214.
Alimentazione:
di radioricevitori, 178.
Trasformatore di, 89, 189.
Alta frequenza, 1, 32, 136, 148, 159, 172.
Alta tensione, 179.
Alternata, 1, 32.
Raddrizzatore della corrente, 88.
Alternatori di alta frequenza, 120.
Altezza di un suono, 65.
Altezza efficace di un aereo, 57.
Altoparlanti:
a cono, 73.
a tromba, 73.
elettrodinamici, 74.
elettromagnetici, 73.
Amperometro di aereo, 144, 147.
Amplificatori:
di alta frequenza, 136.
di bassa frequenza, 131.
a resistenza-capacità, 132.
a trasformatore, 133.
a risonanza, 137.
neutralizzati, 139.
con valvola schermata, 141.
Effetto amplificatore, 99, 127.
Amplificatrice (valvola), 127.
Amplificazione (fattore di), 102.
Ampolle (elettroniche), 79.
Anodica:
tensione, 83, 179.
corrente, 83.
Anodo, 82.
Antenna:
marconiana, 54.
trasmittente, 1, 161.
altezza equivalente di una, 57.
distribuzione della tensione e della corrente, 56.
lunghezza d'onda propria, 57.
potenza irradiata, 58.
resistenza d'irradiazione, 58.
rendimento, 59.
Anticarica (Griglia), 108.
Antifading:
Antenna, 203.

Dispositivo, 203.
Apparecchi:
riceventi, 178.
trasmittenti, 142.
radiotelevisivi, 246.
Arco Poulsen, 12.
Armature dei condensatori, 19, 20, 25.
Forme delle, 25.
Atmosferici (Disturbi), 147, 201.
Audiofrequenza (v. *Bassa frequenza*).
Audion, 96.
Automobili (Ricevitori per), 214.
Autotrasformatore di alta frequenza, 183.
Avvolgimento, 27.

Baffle-board, 75.
Baffo di gatto, 169.
Bain, 234.
Baird, 234.
Bande laterali, 150.
Barkhausen, 126.
Bassa frequenza, 65, 131, 148, 162, 180, 200.
Bassa tensione, 179.
Batteria:
anodica, 83, 98, 179.
di filamento, 82, 178.
di griglia, 97, 130, 171.
Battimenti, 52, 191.
Belin, 234.
Bellini, 209.
Bigriglia, 107.
Biplacca, 90.
Blocco (condensatore), 24.
Bobina di, 29.
Bobina di campo, 74.
Bobina mobile, 74.
Bobine:
capacità ripartita delle, 28.
a induttanza variabile, 30.
a nido d'api, 29.
a fondo di paniere, 29.
cilindriche, 27.
di accordo, 160.
di blocco, 29.
Lorenz, 29.
per onde corte, 28.
Bombardamento elettronico, 85, 195.
Bontà di riproduzione, 180.
Branly, 13.

Calzecchi-Onesti, 13.
Camicia di raffreddamento, 119.
Cambiamento di frequenza, 180, 189.
Campo elettrico, 1, 62.
Campo elettromagnetico, 3, 62, 159.
Campo magnetico, 1, 62, 207.
Canale di frequenza, 150.
Capacità:
propria di un aereo, 56.
residua di un condensatore, 25.
delle bobine, 28.
interelettrodica, 105, 139.
Capsula microfonica, 68.
Caratteristica:
anodica, 86, 99, 109.
di griglia, 99, 173.
mutua, 100, 101, 127, 171.
di un rivelatore, 164.
Carborundum, 162, 171.
Carica spaziale, 84, 108.
Caselli, 234.
Carolus, 234.
Càtodo, 2:
a riscaldamento diretto, 106.
a riscaldamento indiretto, 107, 189.
Cellula:
fotoelettrica, 224, 233, 236.
di filtro, 91.
Cicalina, 148, 167.
Ciclo, 15.
Circuito:
oscillante, 32, 48, 54, 120, 143, 184.

oscillante chiuso, 45.
oscillante aperto, 46.
di càtodo, 82.
di griglia, 97, 99.
di placca, 83.
Classificazione delle onde, 15.
Coefficiente:
di accoppiamento, 50.
di amplificazione, 102.
di modulazione, 149.
Coherer, 13.
Colpitt, 126.
Comando:
Elèttrodo di, 96.
unico, 26, 197.
Commerciali (ricevitori), 200.
Commutatore d'onda, 185, 186.
Condensatore:
fisso, 19.
variabile, 24, 26.
di sintonia, 26, 50.
di blocco, 91, 126.
multiplo, 26.
elettrolitico, 21.
a pacchetto, 20.
a rotolo, 20.
a variazione lineare di capacità, 25.
a variazione lineare di frequenza, 26.
Conduttanza mutua, 104.
Contrappeso, 56, 216.
Controllo:
Elèttrodo di, 96.
Convertitrice (valvola), 194.
Corpuscolare (teoria), 7.
Corrente:
anodica, 97, 99.
di filamento, 82, 118.
di griglia, 99.
di accensione, 82, 118.
di riposo, 102.
di saturazione, 102, 122.
di aereo, 144, 147, 160.
inversa, 109.
oscillante, 1, 7, 32.
Corte (onde), 7, 15, 28, 204, 246.
Costanti dei circuiti:
concentrate, 32.
distribuite, 56.
Cristalli:
rivelatori, 162, 169.
piezoelettrici, 70, 154, 221.
Critica (resistenza), 42.
Cuffia telefonica, 72, 146, 169.
Cursore, 18.
Curva di risonanza, 49.
Curve caratteristiche, 85, 99:
di un dìodo, 86.
di un trìodo, 99.
di un tètrodo, 110.
di un pèntodo, 111.

Decremento, 44.
De Forest, 96.
Demodulazione (vedi anche: *Rivelazione*), 3, 162.
Detector (vedi anche: *Rivelatori*), 162.
Diagramma polare di emissione, 59.
Diagramma polare di ricezione, 207.
Diaframma elettromagnetico, 76.
Diapason, 235.
Difarad (neutralizzazione sistema Difarad), 141.
Dielettrico, 19.
Diffusore, 73.
Dinamico (altoparlante), 74.
Dìodo:
raddrizzatore, 88.
caratteristiche, 86.
rivelazione con, 171.
Dipolo, 60, 216.
Discesa di aereo, 55.
Direttività di un aereo, 59, 204.
Disco di Nipkow, 235, 237, 240.
Dischi grammofonici:
incisione, 222.
riproduzione, 76, 200.

Dispositivi elettroacustici, 65.
norme per l'uso dei, 77.
Distorsioni acustiche, 130.
Disturbi alla ricezione, 147, 201.
Duplicatore di frequenza, 158.
Doppia onda, 51.
Doppio diodo, 90.

Eccitazione:
del circuito oscillante, 33;
degli altoparlanti, 74.
degli aerei, 57, 60.
Edison (Effetto), 81.
Effetto:
Edison, 81.
Kelvin, 40.
pellicolare, 40.
Efficace (Altezza), 57.
Elettroacustica, 66.
Elèttrodo, 82, 96.
Elettrodinamico (Altoparlante), 74.
Elettrolitico (vedi: *Condensatore*), 21.
Elettromagnetico:
Altoparlante, 73.
Pick-up, 76.
Elettroni, 10, 79, 81, 112, 241, 244.
secondari, 85, 111, 195.
Elettronici (Tubi), 79.
Elettroscopio, 81.
Emissione:
elettronica, 83.
secondaria, 85, 110, 112.
Endodina, 169.
Entrata:
Circuito di, 182.
Etere cosmico, 10.
Eterodina, 169.
Evanescenza, 202.
Exodo, 114.

Fading:
Eliminazione del, 203.
Falla di griglia, 125, 172.
Farad, 19.
Fascio:
Sistema a, 204.
elettronico, 112, 241.
Fattore di amplificazione, 102.
variabile, 116.
Feddersen:
Scintilla di, 12, 144.
Fedeltà di riproduzione, 129, 180.
Feeder (vedi: *Linea di alimentazione*), 60, 205.
Filamento, 82.
Filtro:
Circuito, 184.
di banda, 186.
livellatore, 91, 214.
Fleming:
Ampolla di, 82.
Fondamentale (Onda), 57.
Fondo di paniere:
Bobina a, 29.
Forest (De), 96.
Formazione dei condensatori elettrolitici, 21.
Forzate (Oscillazioni), 34.
Fotocellula, 224, 234, 236.
Frequenza:
acustica, 66.
alta, 1, 136, 148, 162.
bassa (vedi: *Audiofrequenza*), 65, 131, 148, 162.
di risonanza, 38, 49, 155.
intermedia, 193.
Cambiamento di, 180, 189.
Controllo della, 156.
Misura di, 52.
Stabilità della, 156.
propria di un circuito oscillante, 38.

Gabbione:
bobina a, 29.
Galena, 162, 171.
Gamma:
di frequenza, 44.

d'onda, 44, 185.
Raggi gamma, 10, 15.
Generatori:
a scintilla, 143.
a valvola, 120.
Ghianda (valvola), 118.
Ginocchio delle caratteristiche, 86, 164, 165, 171, 173.
Grafico per il calcolo della lunghezza d'onda, 36, 37.
Griglia:
di comando, 96, 107.
schermo, 109.
anticarica, 107.
di soppressione, 110.

Hazeltine, 140.
Heaviside, 64.
Heising:
Modulazione sistema, 152.
Hertz, 11, 60.
Hertziane (Onde), 15.
Holweck, 234.
Huyghens, 10.

Iceberg (Scoperta di un), 222, 246.
Iconoscopio, 243, 244.
Immagini di televisione, 245.
radar, 250.
Impedenza di livellamento, 27, 91, 196.
di parola, 153.
Incisione (elettrica dei dischi), 222.
Indicatore di sintonia, 198.
Indiretto (Riscaldamento), 106, 189.
Induttanza delle bobine, 27.
Infrarossi (Raggi), 232.
Inerzia della corrente, 33.
Innesco delle oscillazioni, 122.
Intensità di suono, 65, 197.
Interferenza, 51, 168, 201.
Interdizione:
Potenziale di, 102.
Intermedia (Frequenza), 193.
Interreazioni, 51, 122, 147.
Ioni, 64, 94.
Ionizzazione, 64, 94, 145.
Ionosfera, 64, 203.
Irradiazione delle antenne, 1, 58, 59, 61.

Kelvin (Formula di), 38.
Kennelly, 64.
Kerr (Cellula di), 238.
Kilohertz, 193.

Lampade a luminescenza, 236, 239.
Langevin, 221.
Langmuir, 85.
Laringofono, 218.
Lasco (Accoppiamento), 50, 53, 147.
Laterali (Bande), 150.
Libere (Oscillazioni), 34, 61.
Onde libere, 61.
Linea di alimentazione di antenna, 60, 205.
Linee di forza:
elettriche, 161, 207.
magnetiche, 1, 61, 207.
Luce (Teoria della), 7.
Lunghezza d'onda, 5, 6, 15.
propria di un circuito oscillante, 38.
propria di un'antenna, 57.

Magnetroni, 126, 248.
Marconi, 13, 14, 204.
Marconiana (Antenna), 54, 63.
Maxwell, 10, 11.
Media frequenza, 193.
Medie (Onde), 15, 60, 143.
Meissner, 125, 191.
Membrana, 68, 71, 161.
Messa a terra, 2, 54, 178.
Mica, 20.
Microfonica:
Corrente, 68, 149.
Capsula, 68.

Microfono, 66.
a bobina mobile, 70.
a carbone, 66.
a doppia capsula, 68.
a nastro, 69.
a condensatore, 69.
piezoelettrico, 70.
Microonde, 15.
Mihaly, 234.
Modulante, 148.
Modulatrice (Valvola), 143.
Modulata (Onda), 148, 164.
Modulazione:
di ampiezza, 149.
di frequenza, 149.
di fase, 149.
sul circuito anodico, 151.
sul circuito di griglia, 151.
per assorbimento dall'aereo, 150.
Heising, 152.
Momento elettromagnetico, 58.
Moltiplicatori di frequenza, 126, 248.
Monocomando, 26, 197.
Morse, 159.
Motorino giradischi, 76, 200.
Mutua conduttanza (vedi: *pendenza*), 104.
Mutua (Caratteristica), 100.
Muscovite, 20.
Musicale (Scintilla), 147, 166.

Neutralizzazione, 26, 140, 158.
Neutrocondensatore, 26.
Neutrodina, 140.
Newton, 7.
Nido d'api (Bobina), 29.
Nipkow (Disco di), 234, 237, 240.
Nucleo magnetico:
per alta frequenza, 30.
Trasformatore a, 133.

Occhio elettrico (vedi: Cellula fotoelettrica), 224, 233, 236.

Onda:
diretta, 63.
riflessa, 64, 203.
portante, 148.
fondamentale di un aereo, 57.
Lunghezza d'onda, 5, 15, 39, 44, 52, 57.
Ondametro, 52.
Onde:
corte, 7, 15, 60, 143, 158, 207.
medie, 15, 60, 143, 146.
elettromagnetiche, 1, 2, 3, 15, 62, 159, 246.
lunghe, 7, 15, 60, 143.
libere, 61, 63.
persistenti continue, 40, 142, 147, 167.
persistenti modulate, 148.
semilibere, 61, 63.
smorzate, 40, 142, 166.
sonore, 5, 67.
Ondulatoria (Teoria), 10.
Ortofonica (Tromba), 75.
Oscillante (Circuito), 32, 48, 54, 121, 143, 154, 182.
Scarica, 33.
Oscillatore, 12, 120, 125.
Circuito, 12, 35, 125.
hertziano, 12.
locale, 191, 193.
pilota, 154.
Oscillatorio (Moto), 3, 122.
Oscillatrice (Valvola), 120, 139, 153, 176, 191.
Oscillazioni:
libere, 61, 63.
modulate, 148, 164.
smorzate, 40, 142, 166.
persistenti, 40, 142, 147, 167.
Oscillografo:
catodico, 240, 248.
elettromagnetico, 227.
Oscillografico (Tubo), 241, 248.
Osteofono, 218.
Òttodo, 113, 115, 194.

Paniere (A fondo di), 29.
Parabolico (Condensatore), 26.
Paraffinata (Carta), 20.
Parassiti atmosferici, 201.
Parassite (Capacità), 28.
  Correnti, 27, 40, 58.
Partitore di tensione, 17, 92.
Pellicolare (Effetto), 40.
Pentagriglia, 113, 115, 194.
Penetrazione delle correnti nei conduttori, 40.
Pendenza di una valvola, 104, 115, 186.
  variabile, 115.
Pèntodo, 111, 189.
Pendolo (Oscillazioni di un), 34.
Perdite di un circuito oscillante, 40.
  di un'antenna, 58.
Periodo proprio di un circuito oscillante, 38.
Persistenti (Oscillazioni), 40, 142, 147, 167.
Photophone, 227.
Pick-up, 76.
  elettromagnetico, 76.
  piezoelettrico, 77.
Piezoelettricità, 70.
Piezoelettrico:
  Cristallo, 70, 154, 221.
  Microfono, 70.
Pile anodiche, 86, 99, 179.
Pilota (Oscillatore), 154, 221.
Placca, 82.
Polare:
  Diagramma polare di trasmissione, 59.
  id. di ricezione, 59.
Polarizzazione di griglia, 102, 124, 129, 189.
  con batteria, 124.
  con condensatore shuntato, 124, 189.
Portante (Onda), 148.
Potenza:
  irradiata da un aereo, 58.
  di uscita, 180.
Potenziometro, 18, 197.
Poulsen (Arco), 120.
Presa di terra, 2, 54, 178.
Profondità di modulazione, 149.
Push-pull, 133.

Quadro (vedi anche: *telaio*), 160, 207.
Quarzo:
  piezoscillatore, 70, 154, 221.
  microfono a, 70.
  frequenza propria del cristallo di, 156, 221.

Radar, 112, 246.
Raddrizzamento:
  di una semionda, 88.
  di due semionde, 88, 90.
Raddrizzatori a dìodo, 88.
Radiazioni elettromagnetiche, 15.
Radiofari, 210.
Radiofonia, 148.
Radioricevitori, 178.
Radiofrequenza (vedi: *Alta frequenza*), 1, 136.
Radiofonografi, 200.
Radiogoniometria, 209.
Radiogoniometri, 209.
Raggio diretto, 63.
Raggio riflesso, 63, 203.
Raggi X, 1, 10, 14.
Rauca (Scintilla), 146, 166.
Reazione, 175, 186.
Recorder, 228.
Registrazione:
  dei dischi grammofonici, 222.
  magnetica dei suoni, 223.
Regolatore:
  di tono, 197.
  di volume, 197.
Regolazione automatica, 198.
  di volume, 198.
  di sintonia, 198.
Reinartz, 176.

Relè, 220.
Rendimento di un'antenna, 58.
Reostati, 17.
Resistenza:
critica, 42.
di un'antenna, 58.
d'irradiazione, 58.
interna di una valvola, 87, 102, 109.
fissa, 16.
variabile, 17.
Rettificazione (vedi: *Rivelazione*), 159, 180.
Ricevitori:
ad amplificazione diretta, 186.
a cambiamento di frequenza, 189.
per televisione, 246.
Ricevitore telefonico, 71, 159.
Richardson, 83.
Riflessione delle onde, 64, 203, 205, 221, 246.
Righi, 12.
Riproduttore grammofonico, 76, 200, 203.
Riscaldamento:
Corrente di, 82, 118.
indiretto del càtodo, 107, 189.
Risonanza, 49, 155, 160.
Condizione di, 49.
Curva di, 49.
Risonatore di Hertz, 12.
Rivelatori, 159.
Caratteristiche dei, 163.
a cristallo, 169.
a valvola, 171.
Rivelatrice (Valvola), 106, 171, 187, 191.
Rivelazione:
a cristallo, 169.
a dìodo, 171.
a trìodo, 171.
a valvola schermata, 175.
a reazione, 175.
col metodo dei battimenti, 168.
processo di, 164.
Round (Radiogoniometro di), 209.

Sale di Seignette, 70, 77.
Saturazione:
Potenziale di, 87, 102.
Corrente di, 122.
Scala parlante, 199.
Scandaglio (del fondo marino), 221.
Scarica aperiodica, 42.
Schermata:
Valvola, 109, 141.
Antenna, 202.
Schermo, 109.
Schermo acustico (vedi: *Baffle-board*), 75.
Scintilla di Feddersen, 12.
rauca, 146, 166.
musicale, 147, 166.
Trasmettitori a, 143.
Secondari (Elettroni), 85, 111.
Selettività, 179.
Selezione acustica, 169.
Semifisso (Condensatore), 26.
Semilibere (Onde), 62.
Sensibilità, 179.
Sincronismo (in televisione), 240.
Sintonia, 160, 184.
Sintonizzazione, 160, 184.
Skin-effect (vedi: *effetto Kelvin*), 40.
Smorzamento, 43.
Smorzate (Oscillazioni), 42.
Sonoro (Film), 224.
Spinterometro, 145.
Stabilità dell'onda, 154.
Strato di Kenelly-Heaviside, 64.
Suono, 4, 65.
Stroboscopica (Illuminazione), 3.
Supereterodina, 26, 189, 214.
Survoltore, 214.

Tamburello (Aereo), 216.
Tasto telegrafico, 167.
Telaio (vedi anche: *Quadro*), 160, 207.
Telefono, 71, 159.
Telefotografia, 233.

Telemeccanica, 219.
Televisione, 233.
Tensione:
anodica, 85, 98, 179.
di griglia, 97, 99, 123, 129, 189.
d'interdizione, 101.
di saturazione, 101.
Teoria elettronica, 81.
Termoionica (Valvola), 79.
Tètrodo:
a griglia anticarica, 107.
bigriglia, 107.
schermato, 107.
Thomson, 38.
Ticker, 167.
Timbro di un suono, 65.
Tormalina, 70.
Trasduttore elettroacustico, 77.
Trasformatori:
di alta frequenza, 137.
di bassa frequenza, 133.
di entrata, 133, 182.
di uscita, 78.
microfonici, 77.
Trasmettitori:
a scintilla, 143, 166.
a valvola, 147.
Treno d'onda, 143.
Trìodo:
Capacità interelettrodiche, 105, 139.
Curve caratteristiche di un, 99, 127.
coefficiente di amplificazione, 102.
conduttanza mutua, 104.
resistenza interna, 102.
Usi del trìodo, 106.
rivelatore, 171.
amplificatore, 127.
oscillatore, 120.
Tromba:
Altoparlante a, 73.
esponenziale, 75.
ortofonica, 75.
Tropadina, 193.
Tubi elettronici 79.

Ultradina, 193.
Ultrasonore (Onde), 221.
Ultrasuoni, 221.
Ultravioletti (Raggi), 14, 64.
Unidirezionale (Antenna), 60, 204, 248.

Valvola termoionica, 14, 80, 85.
Valvole:
riceventi, 116.
trasmittenti, 116.
Variometri, 30.
Ventri di:
tensione, 56.
corrente, 56.
Vento (Generatori a), 217.
Velocità di propag. delle onde, 1, 6.
Vibratore, 214.
Visatone, 227.
Volume (Regolatore di), 196.

Weiller (Ruota di), 240.

Zincite, 162, 171.
Zone di silenzio, 64.
Zworikin, 243, 244, 245.

Prezzo: L. 600 nett

omo Giuliani - ELEMENTI DI RADIOTECNICA

ADRIANO CA